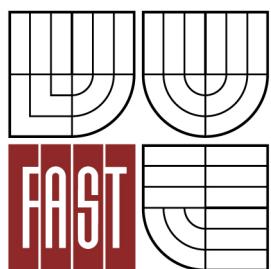




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

ZAMĚŘENÍ A TVORBA 3D MODELU PRO HYDROTECHNICKÝ PROJEKT

SURVEYING AND CREATION OF 3D MODEL FOR HYDRO TECHNICAL PROJECT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. FRANTIŠEK BÁRTA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. VLASTIMIL HANZL, CSC.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. FRANTIŠEK BÁRTA
Název	Zaměření a tvorba 3D modelu pro hydrotechnický projekt
Vedoucí diplomové práce	doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Datum zadání diplomové práce	30. 11. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Manuál k programu AutoCad Civil 3D.

Zásady pro vypracování

Zpracujte měření zátopové oblasti jezera, břehu řeky Multy v Altajském kraji pro výstavbu komunikace, vodních elektráren a jejich zařízení.

Vytvořte 3D model terénu v programu AutoCad Civil 3D.

Vypočtete objem vody v zátopové oblasti. Analyzujte použité metody sběru a zpracování dat.

Předepsané přílohy

.....

doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku tvorby digitálního modelu terénu. Cílem práce je přiblížit řešení zahraniční zakázky od sběru dat po tvorbu a vizualizaci digitálního modelu terénu dané lokality. Pro modelování je použit software AutoCAD Civil 3D 2013. Hlavní výstupy práce jsou výpočty kubatur zátopy, vrstevnicový plán území hráze, digitální model a jeho vizualizace.

Klíčová slova

Digitální model terénu
AutoCAD Civil 3D 2013
Triangulovaný povrch – TIN
Výpočet kubatur
Vizualizace

Abstract

The thesis deals with the issues of digital terrain model creation. It aims to explain the solution of an international contract, starting from gathering the data and finishing with the creation and visualization of the digital terrain model of the given location. The software AutoCAD Civil 3D 2013 is used for modeling. Main outcomes of the thesis are volume calculation of flood line, contoured map of the dam area, the digital model and its visualization.

Key words

Digital terrain model
AutoCAD Civil 3D 2013
Triangulated irregular network
Volume calculation
Visualization

Bibliografická citace VŠKP

BÁRTA, František. *Zaměření a tvorba 3D modelu pro hydrotechnický projekt*. Brno, 2013. 62 s., 4 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22.5.2013

.....
podpis autora
František Bárta

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval svým rodičům, že mi finanční podporou během studia umožnili dostat se až k vypracování této práce.

Také děkuji vedoucímu práce Doc. Ing. Vlastimilu Hanzlovi, CSc. za rychlé a věcné připomínky k práci. Firmě Pöyry za poskytnutí dat. Firmě GeoGrad s.r.o. za možnost účastnit se tohoto projektu.

Poděkování patří také mé přítelkyni Ivetce Martinkové za psychickou podporu.

OBSAH

1. ÚVOD.....	8
2. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE	9
2.1. LOKALITA	9
2.2. HYDROTECHNICKÝ PROJEKT	11
2.3. SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY	15
3. SBĚR DAT.....	18
3.1. PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ.....	18
3.2. MAPOVÁNÍ.....	20
3.2.1. Bodové pole	21
3.2.1.1. Aplikace PPP – určení výchozího bodového pole	22
3.2.1.2. Metody měření	25
3.2.1.3. Měřická síť	27
3.2.2. Podrobné měření	28
3.2.2.1. Metody měření	30
3.2.2.2. Předměty podrobného měření	30
3.2.2.3. Výpočet podrobných bodů.....	32
4. DMT – DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU.....	33
4.1. TEORIE DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU.....	33
4.1.1. Typy terénních modelů	34
4.1.2. Zobrazování	36
4.1.3. Vizualizace.....	39
4.1.3.1. Viditelnost, osvětlení a stínování modelu	40
4.1.3.2. Barvy, materiály a textury	42
4.1.3.3. Zobrazování modelu terénu	42
4.2. TVORBA MODELU V PROGRAMU AUTOCAD CIVIL 3D 2013	43
4.2.1. Pracovní prostor Civil 3D	44
4.2.2. Import souřadnic bodů	45
4.2.3. Tvorba povrchu	46
4.2.4. Vizualizace.....	49
4.2.4.1. Pohledová mapa	49
4.2.4.2. Vrstevnicový plán	50
4.2.4.3. Analýzy modelu	51
4.3. KONTROLNÍ ZAMĚŘENÍ HLADIN JEZER	53
4.4. VÝPOČET KUBATUR ZÁTOPY	54
5. ZÁVĚR	56
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	57
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	59
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61
SEZNAM PŘÍLOH.....	62

1. ÚVOD

Práce se zabývá problematikou zaměření a zpracování digitálního modelu terénu při zahraniční zakázce. Účelem je zaměření zátopové oblasti kolem spodního Multěnského jezera a úseku řek Multa a Přechodná Multa, které se nacházejí v Altajské Republice, části Ruské Federace. Předmětem měření je také zmapování území plánované hráze na severním konci lokality s vyšší podrobností pro možnost tvorby projektu na těchto datech. Na jižním konci území je vyžadováno kontrolní zaměření převýšení mezi hladinami středního a spodního jezera.

Ve druhé kapitole je nastíněn zadaný projekt a jeho lokalizace. Pojednává také o přípravných pracích, výběru vhodného souřadnicového systému, podmínkách při transportu osob i vybavení a o problematice tamního prostředí.

Třetí kapitola řeší výběr metod, přístrojů a postupů pro efektivní mapování dané lokality. Popisuje samotný postup měřických prací a řeší zpracování surových dat a jejich připojení do souřadnicového systému.

Čtvrtá kapitola přibližuje teorii digitálních modelů terénu, na kterou navazuje zpracování dat do výsledného modelu. Poté text řeší problematiku výpočtů a analýz prováděných na modelu.

Výsledkem zaměření je digitální model terénu vytvořený v programu AutoCAD Civil 3D 2013. Jeho souřadnice v místním systému jsou propojeny přes identické body do světového souřadnicového systému ITRS2008. Digitální model je příhodně vizualizován a je na něm proveden výpočet kubatur zátopy pro dané výškové kóty. Mapování na území plánované přehrady je zahrnuto do celkového modelu. Ostatní výsledky jsou přehledně uvedeny v textu této práce.

2. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Tato kapitola poskytuje informace o lokalitě, přibližuje problematiku a řešení prací před samotným sběrem dat.

2.1. LOKALITA

Hlavním zájmem měření bylo Spodní Multěnské jezero a jeho okolí do výškové úrovně 8 m nad stávající hladinu. Takto bylo požadováno zmapovat celé území do vzdálenosti 200 m po směru toku od soutoku s Přechodnou Multou.



Obr. 2. 1 Měřená lokalita[10]

- Celé území má rozlohu 287 ha a rozkládá se v pásu dlouhém 4km. Je podélně orientováno od jihu k severu po proudu řeky Multa.
- Nadmořská výška je okolo 1600 metů nad mořem.
- Jezero se nachází v jižní části lokality s rozlohou 184 ha.
- Na jižním konci je přírodní přepad mezi dvěma jezery.
- Západní a východní břehy jezera jsou tvořeny strmými stráněmi.
- Severní břeh jezera k soutoku je tvořen členitým terénem. Nacházejí se zde travnaté rovinaté plochy, náročný lesní porost, suchá koryta s močály.
- Na severním konci území se od koryta řeky opět zvedají strmé stráně.
- Řeka Přechodná Multa v severozápadní části území lze přebrodit dle stavu hladiny. Na začátku letního období na místě brodu v rybářských holínkách.

- Lokalita je dostupná pouze terénními vozidly a to jenom do konce léta, kdy řeka kulminuje.
- Nachází se necelých 50 km severně od Kazachstánských hranic a přibližně 150 km severozápadně od hranic s Čínou. Nejbližší město je Ust'-Koksa, 33 km vzdálené vzdušnou čarou směrem na severoseverozápad.
- Přibližná poloha: Zeměpisná šířka = 50°00' S, zeměpisná délka = 85°50' V

Měřená lokalita se nachází v Altajské Republice.

- Autonomní celek Ruské Federace v Sibiřském federálním okruhu.
- Jako nejjižnější území střední části Ruska tvoří hranice s Kazachstánem, Čínou a Mongolskem.
- Rozloha - 92 600 km², počet obyvatel - 200 000.
- Hlavní město Gorno-Altajsk, počet obyvatel - cca 50 000.
- Skladba obyvatelstva - 57% Rusové, Altajci 30%. Dále zde žijí menšiny z dob sovětského svazu jako Kazaši, Ukrajinci a další.
- Novosibirský čas UTC+6h.
- Nynější uspořádání je datováno k 3. červnu 1991, kdy byla tato oblast povýšena na autonomní republiku a nyní podléhá přímo Ruské federaci. V roce 1993 dostala současný název.
- Velká část se nachází v pohoří Altaj, a proto se Altajské Republice přezdívá Ruský Tibet.



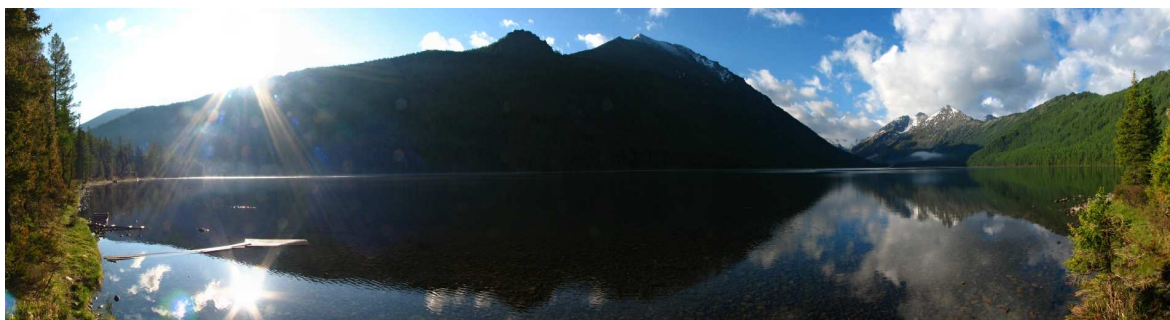
Obr. 2. 2 Mapa Ruska a Altajské republiky[14]

Většina území Altajské Republiky spadá do pohoří Altaj.

- Člení se na Ruský, Mongolský a Gobijský Altaj.
- Rozkládá se na území Ruska, Mongolska, Číny a Kazachstánu.
- Rozloha pohoří – 2000x600 km.
- Nejvyšší hora – Bělucha (4 506 m). Ta je zároveň nejvyšší horou Sibiře, je situovaná cca 40 km od lokality.
- Nachází se zde více než 1 500 ledovců, z toho nejvíce v Katuňském hřbetu (cca 400), ten okrajově zasahuje i do měřené lokality.
- Trvalá sněžná čára – cca 2800 m. n. m.

Zaměřené území leží na řece Multa.

- Zásobená tajícím sněhem a horskými ledovci.
- Zásobárnou vody je Horní Multěnské jezero, z kterého vytéká severně přes střední a spodní jezero a po 35 km se vlévá do řeky Katuň. Řeky Katuň a Bija jsou hlavní zdrojnice veletoku Ob, který od pramene Katuni dosahuje délky 4 338 km a protéká Sibiří od jihu k severu.
- Tvoří údolí, které se táhne mezi vrcholy o výškách kolem 3 000 m. n. m..
- Poskytuje pitnou vodu vesnicím Multa a Maralnik, které leží na jejím dolním toku.



Obr. 2. 3 Panorama části lokality – Spodní Multěnské jezero

2.2. HYDROTECHNICKÝ PROJEKT

Tato kapitola se zabývá důvody, proč investor vybral právě toto území jako vhodné pro stavbu přehrady a s tím spojené vodní elektrárny. Bude zde uvažováno jak hledisko ekonomické, tak i ostatní aspekty jako je geologie či uspořádání terénu.

Důvody investice

Základní hledisko je samotná poloha města Ust'-Koksa včetně okolních obcí a vesnic. Ty, jak je výše uvedeno, se nacházejí v odlehlých částech daleko od civilizace a jejich přístup k elektrické energii je velmi komplikovaný. Jejich energetická nesoběstačnost je dána extrémní délkou elektrického vedení, které je nákladné na provoz a jeho jakékoliv opravy jsou náročné jak ekonomicky, tak hlavně časově. Dochází tedy i k výpadkům energie na několik dní. Zároveň s rozvojem průmyslu a turismu v těchto lokalitách je dosavadní vedení absolutně nedostačující.

V okolí se nachází velké množství vhodných míst pro budování vodních elektráren. Větší toky jako Katuň jsou vyloučeny pro vysokou nákladnost budování hydrotechnických staveb. Důvody jsou hlavně jejich šířka a malý spád. Z horských toků byla vybrána Multa pro její relativní dostupnost a průběh toku v zájmové lokalitě. Hlavní kritérium byl spád toku a také množství vody jím protékající. Vzhledem k tomu, že od Multěnského jezera překoná tato řeka za 10 km více než 400 výškových metrů a je zásobována z velkého množství horských ledovců, byla vhodným kandidátem. Zároveň je výhodou Spodní Multěnské jezero v zátopové oblasti jako zásobárna vody. Vhodné je také rozložení terénu okolo jezera, které umožní s minimálním zatopením dosáhnout dostatečného tlaku a zásoby vody pro stálý celoroční provoz.

Při prohlídce před započítím projektu bylo hlavním projektantem a geologem potvrzeno, že je tato lokalita přijatelná pro investice do geodetického a geologického průzkumu.

Plán projektu

Předběžný plán tohoto projektu je umístění hlavní vodní elektrárny do přehradní hráze. Tato bude hlavní a nejvýkonnější. Dále zde budou osazeny tlakovody, které budou sériově zásobovat dvě malé vodní elektrárny umístěné na březích řeky v několikakilometrovém odstupu tak, aby voda znovu nabyla dostatečné dynamiky. Takto rozmístěné vodní elektrárny budou dostatečně účinné a zároveň budou minimálně ovlivňovat okolní prostředí.

Časový harmonogram

Projekt byl realizován firmou Pöyry v květnu a červnu 2012. Na lokalitu byly vypraveny dvě měřické skupiny s předběžným plánem návratu koncem července. Zde je zmíněný časový harmonogram projektu.

- 1.5. - odsouhlasení realizace projektu a počátek příprav
- 14.5. - odjezd předexpediční skupiny
- 26.5. - příprava a nákup vybavení
- 27.5. - obdržení víz a formálních dokumentů nutných ke vstupu pro měřiče
- 28.5. - odlet: Vídeň – Moskva – Barnaul
- 29.5. - přesun mikrobusem: Barnaul – Gorno Altajsk – Ust' Koksa
- 30.5. - přesun: Ust' Koksa – Multěnské jezero
- měření výchozího bodového pole (GNSS)
- 31.5. - rekognoskace, zhušťování bodového pole
- 1.6.-13.6. - mapování lokality diplomové práce
- 14.6. - přesun: Multěnské jezero – Ust' Koksa
- 15.6.-27.6. - mapování ostatních lokalit
- 28.6. - přesun: Ust' Koksa – Barnaul
- 29.6. - odlet: Barnaul – Moskva - Vídeň

Prohlídka před expedicí

Samotné expedici měřických skupin musela kvůli velké finanční náročnosti předcházet rekognoskace, které se účastnili čeští i ruští investoři, hlavní geodet a geolog. Jejím účelem bylo zhodnocení geologických a geografických podmínek a možnosti zrealizovat projekt v dané lokalitě. Zároveň také byla hodnocena finanční návratnost investicí zvyšujících se s tamním nehostinným terénem a nízkou dostupností.

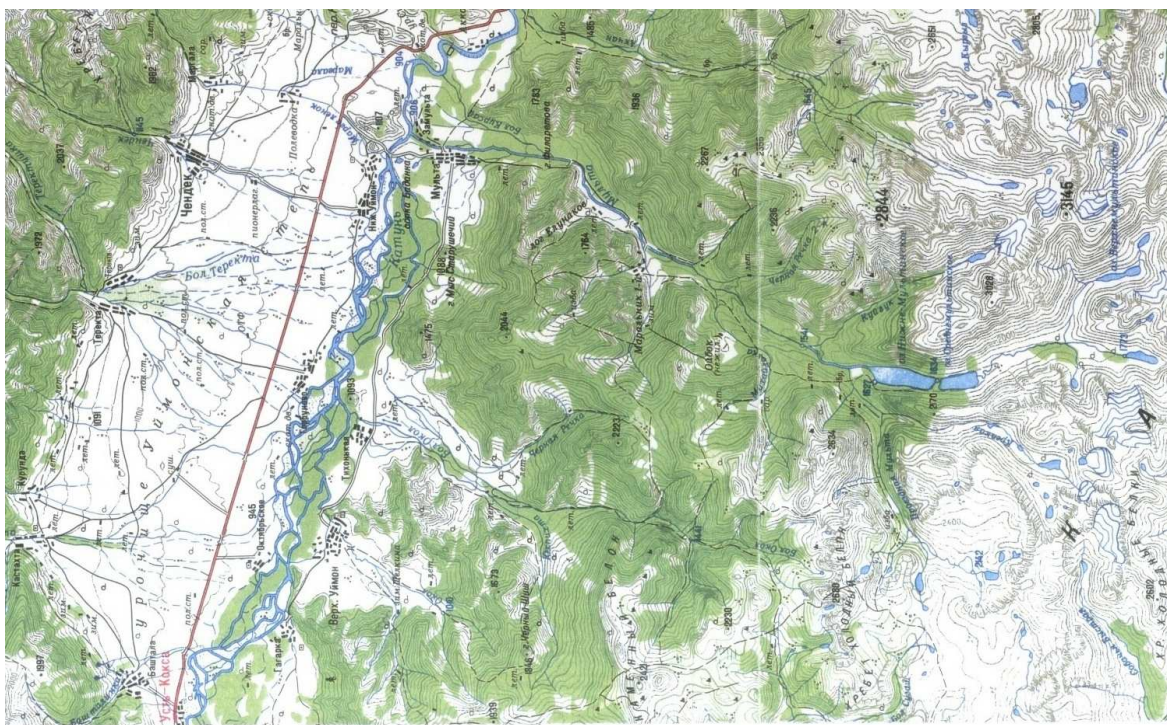
Rekognoskace proběhla ve dvoutýdenním předstihu před měřením. Nejenom pro vyhodnocení rekognoskace, ale také pro vyřízení veškerých potřebných dokumentů nutných ke vstupu do Ruské Federace a Altajské Republiky včetně vstupu do chráněného krajinného území v okolí Multěnských jezer.

Příprava podkladů a bodového pole

Jako hlavní mapový podklad sloužil ortofoto snímek pořízený z aplikace Google Earth, který svojí podrobností postačoval k základní orientaci na lokalitě. Současně poskytoval orientační hodnotu nadmořské výšky terénu a přibližnou informaci o porostu a přístupnosti jednotlivých částí lokality. Ke zjištění informací o přístupnosti je také výhodná funkce zobrazování fotografií pořízených v daném místě a vložených uživateli téže aplikace.

Nejdostupnější papírová mapa dané lokality u nás byla topografická mapa středního měřítka 1:200 000. Nejpodrobnější mapu se podařilo získat až na místě, a to turistickou mapu 1:100 000. Katastrální mapa je dostupná na webové stránce[15]. Nicméně pro tuto lokalitu bez jakýchkoliv předmětů zájmu obsahu katastrální mapy je nepoužitelná.

Příprava bodového pole je problematická, protože neexistuje volný přístup ke geodetickým údajům bodových polí, tak jako u nás pomocí ČÚZK. Bodová pole mají ve správě místní úřady, u kterých je možné zjistit, kde se body nacházejí. Avšak přesné souřadnice poskytuje geodetické oddělení správy katastru, které s odůvodněním, že se jedná o tajné dokumenty, souřadnice neposkytne.



Obr. 2. 4 Topografická mapa středního měřítka 1:200 000

Doprava na lokalitu

Speciální požadavky na dopravu jsou uvedeny hlavně z důvodů velmi komplikované dostupnosti lokality, neznalosti místních stezek a administrativní náročnosti s provozováním vlastního vozidla. Dále také nikdo z měřičů neměl zkušenosti s ruskými terénními vozy, a proto byly na veškeré přesuny najímání místní řidiči s vlastními automobily. Toto řešení omezilo a zároveň vyřešilo technické problémy vozidel i například uvíznutí. Při prohlídce před expedicí bylo z důvodu stále částečně zamrzlých řek, přes které bylo třeba přejet, využito speciální terénní vozidlo se zvýšeným podvozkem a navijákem. Později byla z důvodů vysoké ceny jízdného, v řádu několika desítek tisíc, pronajímána vozidla GAZ a UAZ.

2.3. SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY

Veškeré souřadnicové systémy na území Ruska jsou definované na Krasovského elipsoidu. Elipsoid je matematicky popsán parametry:

- hlavní poloosa (rovníkový poloměr) = 6 378 245,000 m
- vedlejší poloosa (polární poloměr) = 6 356 863,019 m
- zploštění = 0,0033523

Vůči elipsoidu WGS-84 je Krasovského elipsoid rozdílný o níže uvedené difference. Jestliže uvážíme kartézské souřadnice ve středu Krasovského elipsoidu je WGS-84 posunutý o difference:

$$\delta_x = +23m \quad \delta_y = -124m \quad \delta_z = -84m$$

Další difference jsou změna hlavní poloosy o $\delta_a = -108m$ a vedlejší poloosy o $\delta_b = -110,7048m$. Tato data dávají základ pro vytvoření transformačních parametrů.[22]

Územní systémy Ruské federace

Za Sovětského svazu byl zaveden pro celé území systém S-42, který se do dnešní doby využívá na některých vojenských mapách států bývalého sovětského bloku, či na turistických mapách. V roce 2002 byl systém nahrazen systémem SK-95, který je rovněž postaven na Krasovského elipsoidu. Na území federace se nachází přibližně 164 000 bodů astronomicko-geodetické sítě I. a II. řádu. Dále okolo 200 000 bodů statní

geodetické sítě III. a IV. řádu. Pro transformaci do systému ITRS existuje sedmiprvková transformace pro území celé federace rozdělené do pásů. Přesnost této transformace se pohybuje v rozmezí 30 – 50 cm. Výšky jsou vztaženy k ruskému Baltskému výškovému systému 1977 s výškou mořské hladiny v Kronštadu.[22]

Globální systémy

Dalším systémem na tomto území je souřadnicový systém PZ-90 vytvořený jako geografická reference pro uživatele globálního navigačního satelitního systému GLONASS. Je to geocentrický systém zeměpisných souřadnic, který se v řádech decimetrů přimyká k mezinárodnímu rámci ITRF2000. Od roku 2007 je v platnosti jeho modifikace PZ-20.02.

Samozřejmostí je účinnost celosvětových referenčních systémů a rámců. Vedle již zmíněného WGS-84 je to také UTM a ITRF s jeho modifikacemi. Rámec ITRF má na území Ruské federace více jak 100 bodů určených převážně metodou GNSS. Dále se zde také nachází 26 bodů americké sítě TRANSIT.[22]

ITRF – International Terrestrial Reference Frame

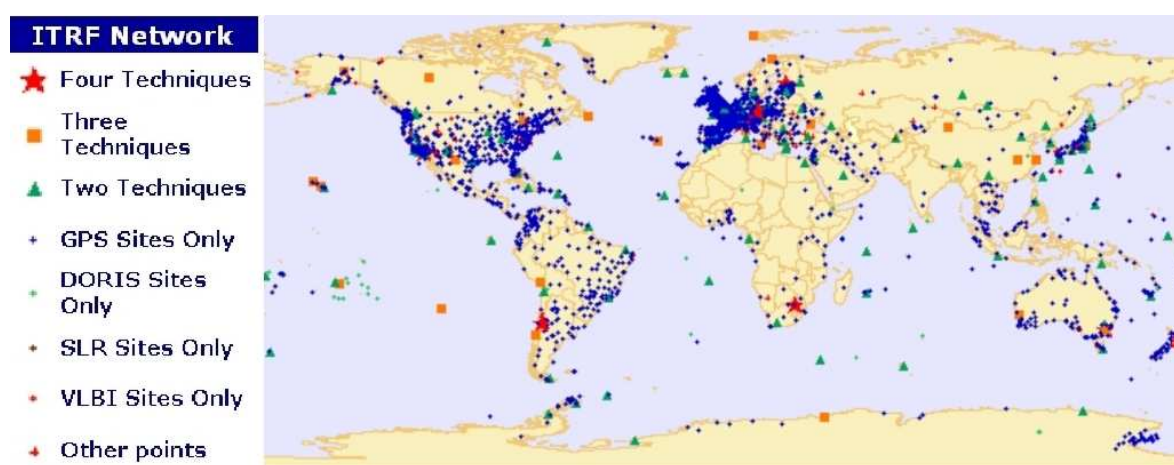
Země neustále mění svůj tvar a rozložení hmot. K tomu, aby mohl být povrch Země pozorován je třeba vytvořit referenční rámec, který se co nejvíce přimyká současnému stavu planety. Proto byl vytvořen rámec ITRF, který poskytuje množinu souřadnic bodů rozmístěných po celém světě. Tento rámec je možné použít jak regionálně, například pro mapování, tak globálně, například pro sledování pohybu tektonických desek. Poskytovatel IERS také vytvořil rámec ICRF pro pozorování rotace a polohy Země vůči vesmírným tělesům. Tyto rámce jsou vzájemně propojeny parametry orientace Země EOPs a to výrazně zvyšuje využití jednotlivých rámců pro výzkum.[17]

V dnešní době jsou k určování přesných souřadnic bodů ITRF používány čtyři základní geodetické techniky:

- VLBI – Interferometrie na dlouhé vzdálenosti je založeno na záznamu radiového vlnění, času na dvou pozemních stanicích. Z toho je možné vypočítat délku a směr základny mezi stanicemi v ITRS, souřadnice pozorovaného kosmického objektu v ICRS a parametry EOP.

- SLR – Laserové měření vzdálenosti mezi pozorovací stanicí a družicí je založeno na měření transitního času, za který se dostane laserový paprsek od pozemního vysílače k družici a zpět.
- LLR – Stejný princip využitý na odrazný systém na Měsíci.
- DORIS – Metoda je založena na vysílání radiového signálu z pozemní stanice a jeho příjem družicí. Uvažuje vzájemný pohyb pozemní stanice a družice tzv. Dopplerovský efekt.
- GNSS – Princip určení polohy pozemní stanice díky přijímání signálu vysílaného družicemi a jeho zpracování.[17]

Díky těmto metodám jsou neustále přijímána data, která vylepšují stávající rámce. Tím dochází k pravidelné aktualizaci rámců, tedy k tvorbě nových realizací. Od prvního rámce ITRF1988 již bylo vydáno celkem 11 realizací. Nejnovější realizace, která byla využita i v této práci, je ITRF2008. Mezi jednotlivými realizacemi existují transformační parametry poskytované na webu ITRF[17]. To znamená, že změny souřadnic mezi realizacemi jsou velice jednoduché.



Obr. 2. 5 Mapa bodů ITRF2008[17]

ITRS česky Mezinárodní Terestrický Referenční Systém je geocentrický systém, jehož počátek leží v blízkosti těžiště Země s pravoúhlými souřadnicemi X, Y, Z, kde osy X a Z realizují Greenwichský poledník a osy X a Y leží na rovníku. Souřadnice mohou být též vyjádřeny v zeměpisné šířce, délce a elipsoidické výšce ϕ , λ , H. Systémy ITRS vycházejí paralelně s realizacemi ITRF a tedy poslední systém byl zprovozněn v roce 2010 jako ITRS2008.[17]

3. SBĚR DAT

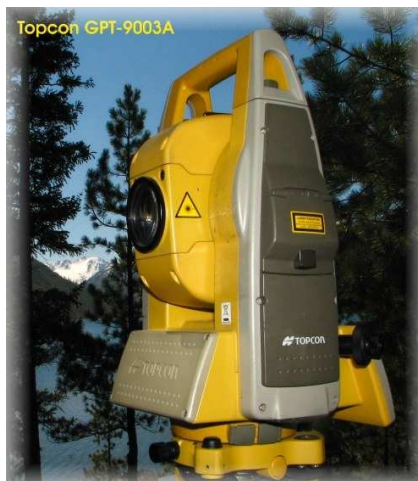
Tato kapitola se zabývá veškerými geodetickými pracemi nutnými k získání dat pro vyhotovení digitálního modelu terénu. Především pojednává o rekognoskaci, měřické síti a podrobném mapování území. Také zahrnuje úpravu a výpočty surových dat do podoby vhodné pro tvorbu digitálního modelu terénu.

3.1. PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

Totální stanice Topcon GPT-9003A

Měření bylo realizováno dvěma bezhranolovými totálními stanicemi Topcon GPT-9003A. Jedná se robotizovanou totální stanicí s možností využití takzvaného one-man přístroje. Výrobce udává přesnost směru je 3'', přesnost dálkoměru při měření na odrazný hranol je $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm}\cdot D)$ a přesnost při bezhranolovém měření je $\pm(10\text{mm}+10\text{ppm}\cdot D)$. Pro měření s velkým dosahem bezhranolového módu, až do délky 2000m, je potřeba čistého průhledu a příhodného povrchu pro odraz paprsku. Pro centraci je přístroj vybaven optickým centrovačem s přesností 0,5mm při výšce přístroje 1,5m. Pro hrubou horizontaci slouží krabicová libela, přesné urovnání se provádí trubicovou libelou s možností grafického zobrazení odchylek kompenzátoru na displeji přístroje. Tato řada je vybavená technologií servo ustanovek Jog-Shuttle, díky kterým je možnost precizního a rychlého cílení s maximální rychlostí otáčení přístroje 85° za sekundu. To poskytuje možnost automatického proložení dalekohledu do druhé polohy v rámci pěti vteřin. Jako pracovní prostředí ovládání totální stanice pomocí barevného dotykového LCD slouží operační systém Microsoft Windows CE®.NET 4.2 s procesorem Intel PXA255 400 MHz. Jako pracovní a výpočetní program slouží TopSURV on board, který je plně ovladatelný přímo v totální stanici.[18]

Jako odrazný systém byl použit odrazný hranol od společnosti Topcon s konstantou hranolu –30 mm a nalepovací odrazné štítky s konstantou 0 mm. Hranol byl umístěn na teleskopické výtyčce s rozpětím 1,5 m až 2,5 m. Kvůli dobré přenosnosti a nízké hmotnosti byl použit hliníkový stativ značky Topcon.



Obr. 3. 1 Topcon GPT-9003A

GPS aparatura Topcon Hiper s kontrolérem FC-100

Aparatura Topcon Hiper je 40 kanálový přijímač s interní pamětí na 400 hodin statického měření. Přijímá jak frekvence L1, L2, tak systémy GPS i GLONASS. Zpracování signálu je vylepšeno o redukce vedlejších odrazů. Používá také systém co-op tracking, který zvyšuje funkčnost v porostu nebo při slabším či nestabilním signálu. S využitím externího kontroléru FC-100 se zvyšují možnosti uplatnění této aparatury.

Polní kontrolér Topcon FC-100 je vybaven operačním systémem Windows CE. Podporuje měření metodou RTK, kdy lze nastavit jeden přijímač jako pasivní Base bez kontroléru a druhý přijímačem Rover mapovat. K tomu je samozřejmě potřeba radiové spojení mezi jednotlivými přijímači, které tato aparatura podporuje. Tato varianta měření byla v tomto projektu nezbytná. Dále kontrolér zvyšuje kapacitu paměti dle vložené SD karty. Baterie jsou limitující u kontroléru, kde vydrží kolem 10 hodin, což je několikrát méně než u přijímače.

Specifické vybavení

V tomto odstavci jsou zmíněny různé přístroje a vybavení, které byly nezbytné z důvodů náročnosti terénu, nedostupnosti a dalších aspektů.

Prvním důvodem pro specifické pomůcky byla přeprava letadlem. Již při prohlídce před expedicí nebylo nikomu umožněno převést ani v nákladovém prostoru značkovací spreje, a z toho důvodu byla použita červená stuha. Ta se ve finále ukázala jako mnohem lepší jak v přenosnosti, tak i viditelnosti. Také musely být zakoupeny menší krabice na totální stanice, aby se vešly do odkladného prostoru nad hlavou. Je třeba mít nabitě

baterie, protože celní kontrola vyžaduje zapnutí totálních stanic. Také je vhodné mít doklad nebo soupis přístrojového vybavení pro jednodušší projití celní kontrolou.

Závislost přístrojů na elektrické energii nás donutila vypůjčit si centrálu a dopravit na lokalitu dostatečné množství benzínu pro provoz centrály na 3 týdny po 5 hodinách denně. Je třeba vzít s sebou i nářadí a náhradní svíčku pro základní opravy.

Jelikož docházelo k měření a pohybu ve vodě byly dovezeny rybářské holínky a gumový lodní batoh. Občas postačila kombinace pevných bot s návleky.

Následující obrázek přibližuje využití benzínové elektrocentrály, signalizace stanovišek pomocí stuh a přechod Přechodné Multy v rybářských holínkách.



Obr. 3. 2 Ukázky specifického vybavení v praxi

3.2. MAPOVÁNÍ

Kapitola mapování se zabývá nezbytnými činnostmi pro získání dat z terénu a to od tvorby výchozího bodového pole, jeho zhuštění a vytvoření měřické sítě po podrobné terénní mapování. Zahrnuje také metody a postupy měření těchto jednotlivých fází.

Rekognoskace území

Rekognoskace spojená s rozdělením území mezi dvě měřické skupiny a vybudováním prvních bodů měřické sítě trvala první dva dny. Dále bylo součástí rekognoskace synchronizace měřických skupin, diskuse o předmětech podrobného měření, plánování konfigurace měřické sítě a návaznosti měření v závislosti na terénní dostupnosti jednotlivých úseků.



Obr. 3. 3 Výběr fotografií terénu na měřené lokalitě

3.2.1. Bodové pole

Jako výchozí bodové pole jsou zvoleny body měřené statickou metodou GNSS, na kterých byly měřeny delší observace tak, aby bylo možno vypočítat jejich souřadnice aplikacemi PPP. Body 138, 5001, 5002, 5003 vyhovují přesnosti určení polohy pomocí aplikací PPP do jednoho centimetru ve všech složkách a tudíž budou do následných výpočtů vstupovat jako bezchybné. Přesnost určení polohy těchto bodů aplikacemi PPP je ověřena porovnáním nezávislých výsledků prostorové vzdálenosti mezi vybranými body. Prostorová vzdálenost je vypočtena ze souřadnic určených metodou PPP, přímo měřeným vektorem metodou GNSS a terestrickým měřením vzdálenosti. Souřadnice těchto bodů jsou určeny aplikacemi PPP v systému ITRS2008 i v místním systému pro možné provedení transformace.

Body 5001, 5002, 5003 byly stabilizovány plastovými znaky do úrovně terénu pro jejich potřebnou dlouhou životnost. Byly také orientačně signalizovány dlouhými dřevěnými kolíky. Bod 138 je bodem tamního bodového pole a je stabilizován kovovým mezníkem.

V následující tabulce jsou uvedeny výsledné souřadnice jednotlivých bodů v systému ITRS2008, doba observace na jednotlivých bodech, počet satelitů uvážených do výpočtu a přesnost určení polohy bodu z protokolu o výpočtu PPP vyjádřenou parametry elips chyb.

5001			
Souřadnice ITRS2008	$\varphi = 50^{\circ} 05' 54,61312''$	$\lambda = 85^{\circ} 54' 14,29953''$	H = 1130,64 m
Doba observace	5 h 05 min	Počet satelitů	34
Parametry elips chyb	a = 1,329 cm	b = 0,513 cm	$\varphi = 72^{\circ} 03' 45,98''$
5002			
Souřadnice ITRS2008	$\varphi = 50^{\circ} 01' 01,17029''$	$\lambda = 85^{\circ} 49' 54,21261''$	H = 1591,48 m
Doba observace	1 h 45 min	Počet satelitů	29
Parametry elips chyb	a = 4,056 cm	b = 1,861 cm	$\varphi = 110^{\circ} 29' 32,41''$
5003			
Souřadnice ITRS2008	$\varphi = 50^{\circ} 01' 04,21564''$	$\lambda = 85^{\circ} 49' 42,66621''$	H = 1594,86 m
Doba observace	2 h 25 min	Počet satelitů	36
Parametry elips chyb	a = 2,628 cm	b = 0,927 cm	$\varphi = 115^{\circ} 12' 31,78''$
138			
Souřadnice ITRS2008	$\varphi = 50^{\circ} 05' 59,91057''$	$\lambda = 85^{\circ} 53' 42,88087''$	H = 1160,53 m
Doba observace	6 h 25 min	Počet satelitů	38
Parametry elips chyb	a = 1,084 cm	b = 0,349 cm	$\varphi = 75^{\circ} 59' 31,34''$

Tab. 3. 1 Souhrnná tabulka výchozího bodového pole

3.2.1.1. Aplikace PPP – určení výchozího bodového pole

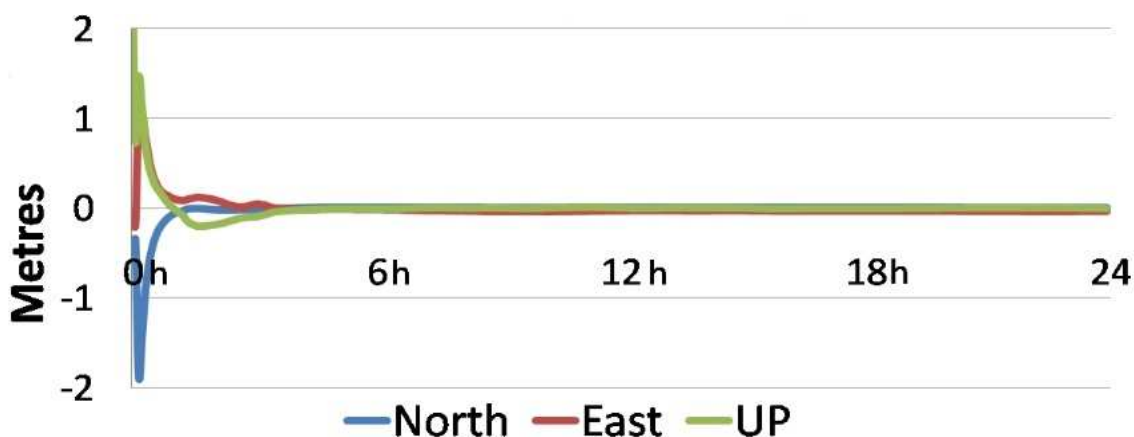
PPP neboli Precise Point Positioning je výpočetní služba pro přesné určení polohy bodu jako post-processing dvojfrekvenčního měření GNSS. Využívá se především na lokalitách s absencí jakéhokoliv bodového pole a tam, kde již není dosah standardních referenčních stanic. Tato služba je bezplatná a je poskytována na několika webových stránkách. Podle srovnávacího testu na univerzitě v Drážďanech [15] tyto služby poskytují podobné výsledky v závislosti na kvalitě a délce měření. Výpočty jsou prováděny v souřadnicovém systému ITRF2008, případně v dalších lokálních, nikoliv však v evropském ETRS05. Vstupní měření do výpočtu je požadováno ve formátu RINEX2 nebo HATANAKA. Většina z těchto webových aplikací již podporuje kombinované měření GPS+GLONASS.

Pro vytvoření měřické sítě v lokalitě Multěnských jezer byly využity tři služby PPP:

- CSRS – je provozována společností Natural Resources Canada. Využívá přesné parametry IGS.
- GAPS – je provozována univerzitou New Brunswick. Využívá IGS.

- MagicGNSS nabízí španělská firma GMV, která používá vlastní parametry orbity a satelitních hodin, dokud nejsou k dispozici data IGS.

Podle srovnávacího testu [15] metody PPP je ověřené, že při hodinové statické observaci lze získat výsledky se směrodatnou odchylkou v řádech několika málo centimetrů, kde je vždy severní složka nejpřesnější, výšková bývá na druhém místě a nejméně přesná bývá složka východní. Toto pořadí je pro PPP typické, protože se fázové ambiguity nepočítají celočíselně. Pro statické observace v délce trvání 24 hodin bylo zvýšení přesnosti výrazné. Směrodatné odchylky pro severní a východní složku klesly pod jeden centimetr a výšková složka se pohybovala okolo jednoho centimetru. Výsledky od jednotlivých služeb jsou podobné a s dobou observace úměrně konvergují.[3]



Obr. 3. 4 Závislost přesnosti určení polohy na čase observace[5]

Výpočet pomocí PPP

Zde jsou shrnuta základní vstupní data, hodnoty a nastavení pro výpočet bodů aplikacemi PPP. Vstupní data RINEX2 jsou obvykle exportována z aparatur GNSS ve tvaru CCCCPPPI.RRT, kde:

- CCCC – číslo bodu observace (např. 5001)
- PPP – označení přijímače
- I – identifikátor (0-9 nebo a-z)
- RR – rok měření (např. ‘13’ pro rok 2013)
- T – typ souboru (např. ‘o’ pro GPS+GLONASS nebo ‘d’ pro Hatanaka kompresi)

Hlavní parametry výpočtu jsou nastavení metody měření a to buď statická nebo kinematická. Zadání úhlu elevace v intervalu $<0^{\circ};90^{\circ}>$ v závislosti na zakrytí obzoru bývá určena v okolí hodnoty 10° . Nastavení data měření, případně jeho časový úsek a přesný

čas. Dále bývá možnost nastavení různých parametrů atmosféry, ionosféry a ostatních korekcí a modelů. Ty bývají přednastaveny a je zbytečné s nimi manipulovat, pokud nemáme k dispozici přesnější hodnoty jednotlivých jevů. Další vstupní nastavení bývá apriorní hodnota souřadnic, kterou při nevyplnění aplikace nahrazuje software přibližnou hodnotou ze souboru měření bodu RINEX. Je možné ji také nastavit přesnost určení.

Aby mohly být výsledky z jednotlivých aplikací použity dále do výpočtu, byly porovnány vůči sobě a tím získány odchylky v souřadnicích. Z následující tabulky je zřejmé, že odchylky jsou minimální a tím pádem je možné zvolit jakoukoliv aplikaci.

Č.b.	Latitude [° ' "]			Longitude [° ' "]			H [m]	Aplikace	$\delta\rho_{\max}$ ["]	$\delta\lambda_{\max}$ ["]	δH_{\max} [m]
5001	50	5	54,6133	85	54	14,2999	1130,642	MAGIC	0,0002	0,0004	0,006
	nelze zpracovat							GAPS			
	50	5	54,6131	85	54	14,2995	1130,636	CSRS			
5002	50	1	1,1713	85	49	54,2111	1591,484	MAGIC	0,001	0,0015	0,000
	50	1	1,1703	85	49	54,2126	1591,484	GAPS			
	nelze zpracovat							CSRS			
5003	50	1	4,2153	85	49	42,6665	1594,836	MAGIC	0,0002	0,0003	0,014
	50	1	4,2156	85	49	42,6662	1594,856	GAPS			
	50	1	4,2155	85	49	42,6662	1594,850	CSRS			
138	nelze zpracovat							MAGIC	0,0003	0,0007	0,019
	50	5	59,9106	85	53	42,8809	1160,531	GAPS			
	50	5	59,9103	85	53	42,8802	1160,512	CSRS			

Tab. 3. 2 Ověření spolehlivosti jednotlivých aplikací PPP

Spolehlivost výchozího pole

Aby bylo možno uvažovat výchozí pole jako dostatečně přesné, je třeba mít dostatečný důkaz o spolehlivosti metody PPP. Vzhledem k nedostupnosti kvalitních materiálů o testování této metody bylo nutno spolehlivost ověřit porovnáním nezávislých měření. V dostupných materiálech nebyly zveřejněny exaktní výsledky testování, kde by bylo zřejmé, jakých přesností se dosahuje u observací přesně časově vymezených. Navíc byla většina testů realizována na území Evropy a nikoliv na lokalitě podobné této, kde se hodnoty vektorů referenčních stanic pro výpočet polohy pohybují v řádu tisíců kilometrů. Výpočty byly provedeny ve třech různých aplikacích, to zajišťuje spolehlivost samotného výpočtu, nikoliv však prostorové polohy.

Vybereme dva body, na kterých bylo realizováno jak měření pro výpočet polohy metodou PPP, měření vektoru prostorové polohy metodou GNSS, tak i terestrické měření šikmé vzdálenosti. Aplikace PPP ve svých protokolech poskytují prostorové souřadnice určovaného bodu. Z těchto souřadnic vypočítáme délku vektoru, kterou porovnáme s vektory ze statické metody GNSS. Takto porovnáme všechny možné kombinace. Rozptyl

rozdílů hodnot délek vektorů nám vyjadřuje charakteristiku přesnosti metody. Z těchto hodnot není vhodné počítat střední chyby určení polohy. Důvody jsou malý počet měření, různé doby observací pro PPP a nezanedbatelně rozdílné délky vektorů statickou metodou. Je tedy zřejmé, že není možné dosáhnout směrodatné hodnoty charakteristiky přesnosti určení prostorové polohy. Nicméně je to dostačující pro ověření spolehlivosti výpočtů a tím by bylo možno využít přesnosti z protokolů od poskytovatele služby.

5002				
ITRS 2008	Geocentické souřadnice	X = 298553,10 m	Y = 4096574,05 m	Z = 4865223,13 m
	Geodetické souřadnice	$\varphi = 50^{\circ}01'01,17029''$	$\lambda = 85^{\circ}49'54,21261''$	H = 1591,48 m
Místní systém	Místní souřadnice	X = 5228,41 m	Y = 14902,35 m	Z = 76,61 m
5003				
ITRS 2008	Geocentické souřadnice	X = 298777,34 m	Y = 4096487,57 m	Z = 4865286,19 m
	Geodetické souřadnice	$\varphi = 50^{\circ}01'04,21564''$	$\lambda = 85^{\circ}49'42,66621''$	H = 1594,86 m
Místní systém	Místní souřadnice	X = 5000,00 m	Y = 15000,00 m	Z = 80,00 m
Porovnání hodnot prostorové vzdálenosti mezi body 5002 a 5003 výchozího bodového pole				
Vzdálenost ze souřadnic určených metodou PPP			S = 248,466 m	$\Delta_{\max} = 0,9 \text{ cm}$
Vzdálenost statickou metodou GNSS			S = 248,475 m	
Šikmá délka terestrického měření			S = 248,468 m	

Tab. 3. 3 Souřadnice výchozích bodů a ověření spolehlivosti určení souřadnic v systému ITRS 2008

3.2.1.2. Metody měření

Polygonový pořad

Metoda polygonového pořadu byla nezbytná z důvodů neexistujícího stávajícího bodového pole a také proto, že vybudování měřické sítě statickou metodou je časově náročné a nelze ho realizovat v místech s hustým porostem. Protože bylo v jednotlivých polygonových pořadech velmi mnoho vrcholů s poměrně krátkými stranami volila se vždy nejspolehlivější varianta oboustranně připojeného a oboustranně orientovaného polygonového pořadu. U tohoto typu polygonového pořadu jsou měřeny tři nadbytečné veličiny uvnitř pořadu, a to dva vrcholové úhly a jedna délka. Další nadbytečné veličiny jsou měřeny při orientacích na dva a více známých směrů. Při výpočtu pak dochází k souřadnicovému i úhlovému vyrovnání.[12]

Rajón

Jedná se o nejjednodušší metodu jak určit nové stanovisko. Rajónem se rozumí orientovaná a délkově zaměřená spojnice daného a určovaného bodu. Ve vztahu ke kvalitě měření by se neměly objevovat rajóny více jak dvojnásobné, tedy maximálně rajón z rajónu. Délka rajónu by neměla přesáhnout délku nejvzdálenější orientace. Tato metoda byla použita převážně v místech, kde bylo nutno odbočit od polygonového pořadu z důvodu porostu a nízké viditelnosti.

Statická metoda

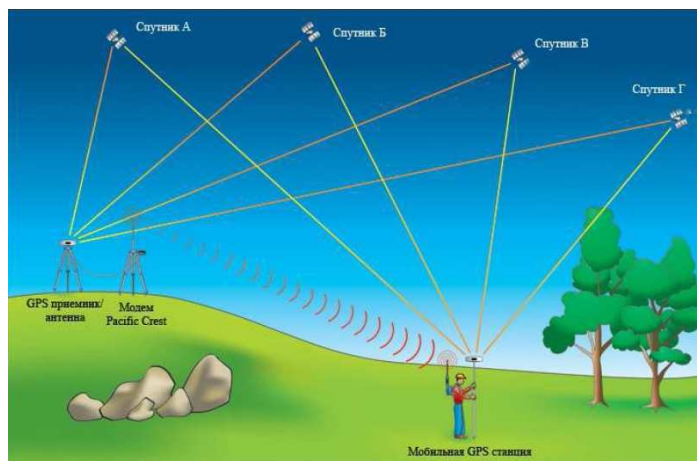
Tato metoda se řadí mezi metody s následným zpracováním (postprocessing). Podle způsobu určení polohy se jedná o typ relativního měření. Toto měření probíhá minimálně se dvěma aparaturami, které přijímají data z družic ve stejný čas na různých místech. Výsledná vzájemná poloha je dána vektorem. Spojnice mezi aparaturami se nazývá základna. Jedná se o nejstarší metodu GNSS, kdy se aparatury vůči zemi po celou dobu observace nepohybují. Doba observace se odvíjí od délky základny (Tab. 3.3). Tato metoda se používá při národních a kontinentálních měření a taky jako v tomto případě při budování sítí na velkém území. Nejvyšší přesnost se pohybuje okolo hodnoty $5\text{mm} + 1\text{ppm} \cdot D$. [13]

Délka základny [km]	Doba observace [min]
0,1 – 1	10 – 30
1 – 5	30 – 60
5 – 10	60 – 90
10 – 30	90 – 120

Tab. 3. 4 Závislost doby observace na délce vektoru [13]

RTK

Real Time Kinematic metoda se používá pro rychlé měření velkého množství bodů. Metoda využívá dvou aparatur, jedné jako báze (po celou dobu měření na známém bodě) a druhé jako rover (pohybující se po měřených bodech). Principiálně funguje na fázovém a přesném kódovém měření. Radiovým spojením báze a roveru se neustále přenáší pseudovzdálenosti a korekce do roveru v reálném čase. Ambiguity se v roveru řeší metodou On the Fly. Díky těmto výpočtům dostáváme výsledný vektor v reálném čase a při observaci na podrobném bodě v řádu několika sekund. Přesnost $10\text{-}20\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$ a rychlost měření se odvíjí od momentálního rozmístění družic a elevační masce na místě měření. Pro zhuštění bodového pole bylo v aparatuře nastavené měření a registrace více epoch, tím bylo dosaženo lepší přesnosti a byly vyloučeny chyby v měření.[13]

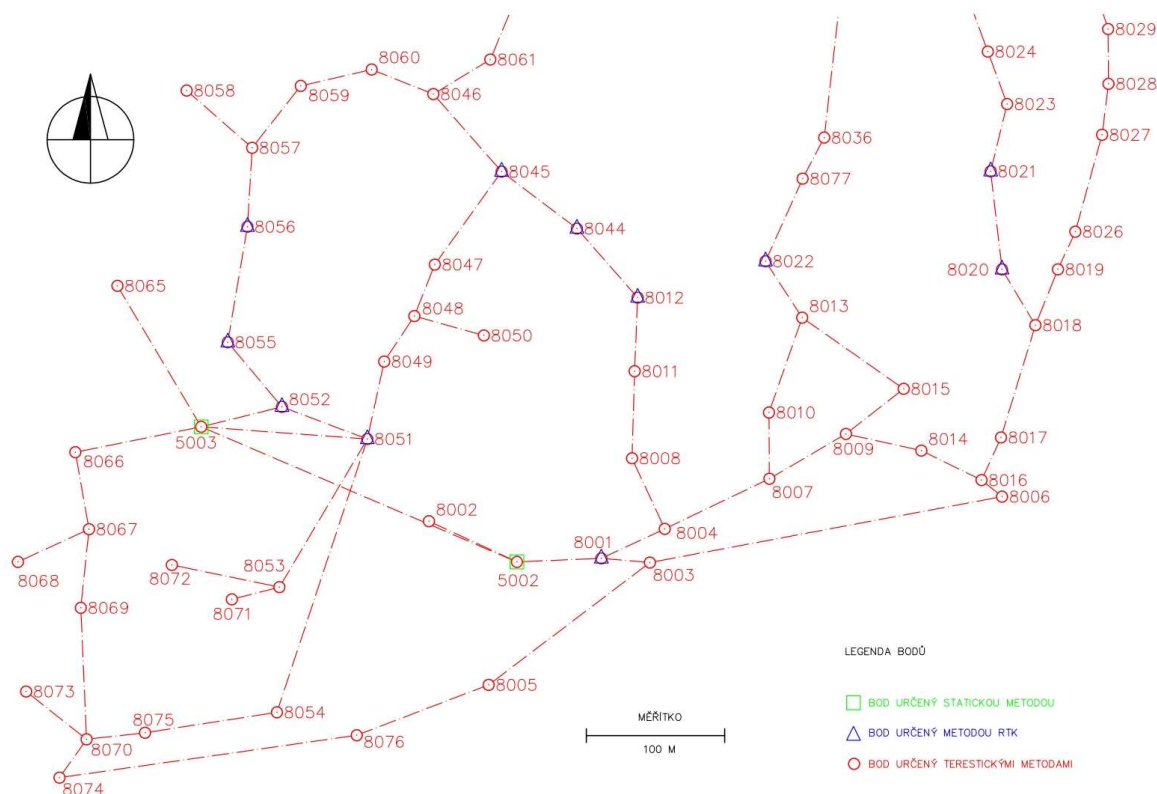


Obr. 3. 5 Schéma měření RTK[13]

3.2.1.3. Měřická síť

Měřická síť pro podrobné mapování byla realizována polygonovými pořady vloženými mezi body výchozího bodového pole a body určenými metodou RTK z bodů výchozího pole. Polygony byly vždy voleny tak, aby se jednalo o oboustranně připojené. Pro zhuštění měřické sítě byly často využívány rajóny, které umožňovaly zmapování nepřístupných míst. Rajony byly voleny tak, aby nikdy nebylo použito více jak dvojnásobného rajonu.

Body polygonových pořadů byly stabilizovány dřevěnými kolíky, křížky vyrytými do skály či jinými typy dočasné stabilizace.



Obr. 3. 6 Náhled části měřické sítě

Výpočet měřické sítě

Výpočet měřické sítě byl převzat od firmy Pöyry. Výpočty jsou provedeny v programu GEUS a GEUSnet. Z výchozích bodů je nejprve zpracována statická metoda mezi body 5002, 5003, 5005 a 5006. Dále je zpracováno měření metodou RTK na bodech měřické sítě. Poté jsou v programu GEUS vypočteny předběžné souřadnice všech bodů měřické sítě pomocí funkce výpočtu polygonových pořadů. Polygonové pořady jsou taženy mezi body určenými metodami GNSS a jsou voleny jako oboustranně připojené a oboustranně orientované. Stanoviska mimo polygonové pořady jsou následně vypočteny rajonem. V jednom případě je použit dvojitý rajon. Takto jsou vypočteny předběžné souřadnice stanovisek 8001 – 8132.

Předběžné souřadnice spolu s měřenými veličinami byly v programu GEUSnet vyrovnány metodou nejmenších čtverců.

3.2.2. Podrobné měření

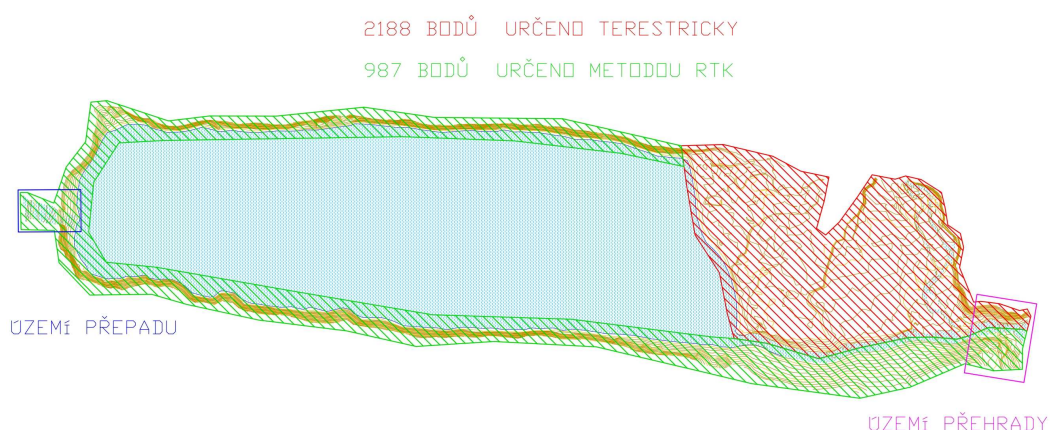
Tato kapitola se zabývá podrobným mapováním lokality. Zmiňuje předměty podrobného měření, tvorbu měřických náčrtů a rozebírá podrobnost mapování v jednotlivých místech lokality v závislosti na účelu tvorby podkladu.

Lokalita je rozdělena podle terénu a účelu využití podkladu na 4 základní části. První a nejpodrobnější zaměření je v místě plánované přehrady pod soutokem řek v nejužší části údolí. Ta je mapována podrobněji než zbytek lokality a je dbáno na vystihnutí výškových stupňů pro možnost vytvoření projektu hráze.

Druhá a nejnáročnější část se nachází na západní straně od vyústění jezera k Přechodné Multě. Ta je nejrozsáhlejší, velmi členitá s hustým porostem. I když je požadováno zaměření pro měřítko 1:1000, musí se místy mapovat podrobněji z důvodů velkého množství nezanedbatelných výškových stupňů, které vystihují tvar reliéfu. Tyto dvě části jsou majoritně mapovány terestrickými metodami.

Ve třetí části se jedná převážně o rychle a pravidelně stoupající břeh kolem většiny jezera a několik míst s řídkým porostem, kde je možno využívat systém GNSS a mapovat metodou RTK. Ta je rozlohou největší, avšak díky měření RTK, časově méně náročná. Také měřítko mapování 1:1000 a rychlé stoupání terénu do požadované kóty poskytuje možnost zanedbávat již tak řídké se vyskytující výškové stupně.

Nejmenší poslední část zahrnovala zaměření přepadu mezi jezery. Speciální požadavek je zaměření přepadu až k hladině Středního Multěnského jezera. Důvodem je zamezení takového projektu hráze, kde by mohlo dojít ke spojení obou jezer v jedno (například při vyšší hladině toku). Absence jakéhokoliv porostu umožnila tuto etapu zaměřit efektivně metodou RTK.



Obr. 3. 7 Schéma mapování lokality

3.2.2.1. Metody měření

Polární metoda

U námi použité totální stanice se kromě standardního měření na odrazný hranol vyskytuje možnost využití bezhranolového módu měření délek, které je využito u nedostupných předmětů měření. Nepatrně nižší přesnost měřené délky nehraje v našem případě takovou roli jako překážky v průchodu paprsku a povrch pro odraz paprsku. Je nutnost dbát na změnu konstanty hranolu a výšky cíle při přepnutí metody měření.

RTK

Real Time Kinematic metoda se používá pro rychlé měření velkého množství bodů. Metoda využívá dvou aparatur, jedné jako báze (po celou dobu měření na známém bodě) a druhé jako rover (pohybující se po měřených bodech). Principiálně funguje na fázovém a přesném kódovém měření. Radiovým spojením báze a roveru se neustále přenáší pseudovzdálenosti a korekce do roveru v reálném čase. Ambiguity se v roveru řeší metodou On the Fly. Díky těmto výpočtům dostáváme výsledný vektor v reálném čase a při observaci na podrobném bodě v řádu několika sekund. Přesnost $10\text{-}20\text{mm} + 2\text{ppm} \cdot D$ a rychlost měření se odvíjí od momentálního rozmístění družic a elevační masce na místě měření.[13]

3.2.2.2. Předměty podrobného měření

Jsou uvažovány pouze předměty zájmu rozměrově nebo významově dostatečné pro dané měřítko a jeho rozlišovací schopnost. Všechny níže uvedené mají vystihovat charakter terénu v souvislosti se zadáním zaměření.

Terén:

- plochy (body po 30m do tvaru čtvercové sítě)
- terénní tvary na svršku vyvýšeniny (hrana, hřbet, sedlo, kupa, hřeben, štít vrcholová plošina, ...)
- terénní tvary na úbočí vyvýšeniny (svahové prvky, zlom, rýha, zářez, rokle, stráň, stěna, ..)
- údolní tvary (pata, údolí, jáma, ...)
- skalní útvary (osamělá skála, balvan, skupina balvanů)[4]

- ostrůvky v říčním korytu

Vodstvo:

- tvar koryta řeky (břeh, hladina, dno, průběh dna)
- slepá a suchá ramena
- hladinová čára jezera (případně i břeh)
- hranice přepadu

Povrchy:

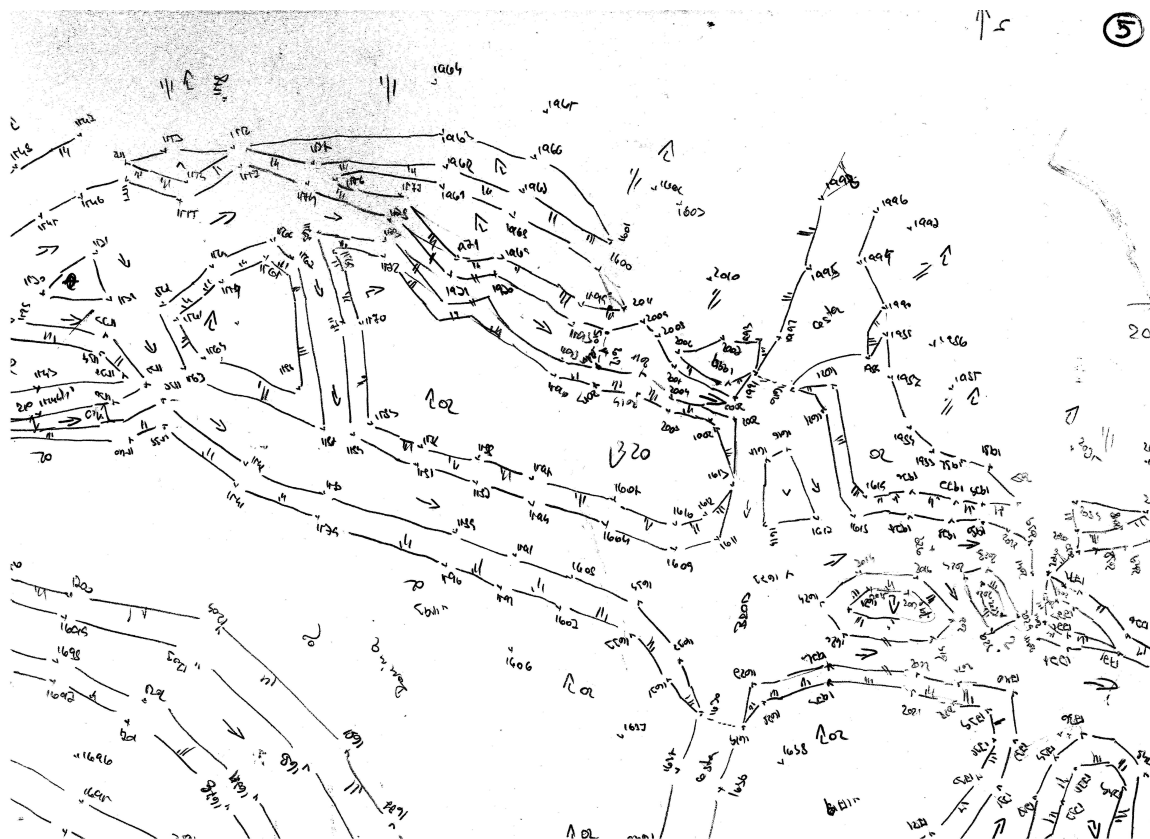
- zatravněná plocha (louka, palouk, ...)
- les (jehličnatý, listnatý, smíšený)
- vodní plocha
- cesty

Ostatní předměty zájmu:

- osamělý strom
- budovy, stavby
- dopravní značení
- a další...

Měřické náčrty

Během celého měření jsou vytvářeny měřické náčrty podrobného měření a měřické sítě. Kódování a následné automatizované zpracování není možné využít jednak kvůli velké členitosti terénu a také z důvodu zpracování výkresu až v České Republice. Měřický náčrt tedy poskytuje orientační kontrolu měření a možnost reprodukovat terén kdekoliv bez větších problémů. Náčrty obsahují zaměřené body, terénní a ostatní spojnice, mapové značky měřených prvků a ploch, výškové šrafy, body polygonového pořadu a další. Celé území není pokryto náčrty, protože ve strmých úsecích by to bylo zbytečné. To z důvodu, že zaměření strmých břehů jezera slouží pouze pro výpočet kubatur a změny tvořené terénními zlomy jsou zanedbatelné.



Obr. 3. 8 Ukázka polního náčrtu

3.2.2.3. Výpočet podrobných bodů

Na lokalitě je zaměřeno celkem 3175 podrobných bodů pro tvorbu modelu. Body jsou pro výpočet rozděleny do dvou skupin. První skupina bodů měřených metodou RTK je vypočtena spolu se statickou metodou v softwaru Topcon Tools. Jako výchozí pro tuto operaci slouží bod 5002, na kterém je umístěna báze během veškerého RTK měření. Druhou skupinou jsou body měřené totálními stanicemi ze stanovisek měřické sítě. Výpočet souřadnic těchto podrobných bodů je realizován v programu GEUS pomocí funkce hromadného zpracování polární metody. Do výpočtu vstupují vyrovnané souřadnice měřické sítě a zápisníky podrobného měření.

4. DMT – DIGITÁLNÍ MODEL TERÉNU

Pod pojmem digitální model terénu se rozumí číselný popis reliéfu. Je na něm možné provádět analýzy území a je ideálním podkladem moderních projektů.

Tato část práce zahrnuje vše od tvorby digitálních modelů terénu, přes tvorbu tohoto konkrétního modelu, až k jeho výsledné formě pro předání projekční kanceláři s vhodnými vizualizacemi.

4.1. TEORIE DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU

Podle slovníku VÚGTK je DMR (*digitální model reliéfu*) digitální reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů.[16]

Prvky charakterizující reliéf jsou místa rovinná, s narušenou rovinou či terénní stupně at' již přírodní nebo většinou umělé. Zvláštní terénní tvary jsou údolnice, hřbetnice, vrcholy, sedla a další, které utvářejí charakteristický tvar reliéfu. Takové jevy se v DMT nazývají singularitami matematicky definované jako nespojitost funkce či její derivace. Tyto singularity dělají reliéf matematicky nedefinovatelný, proto se plocha dělí na menší části, jejichž hranice vedou po singularitách. Pokud jsou části voleny tak, aby bylo možno určit jejich geometrii, je matematická definice povrchu vyřešena. Tímto dostáváme množinu hladkých ploch, které se vzájemně stýkají na hranách a ve vrcholech. Taková množina pak popisuje nejenom terén, ale využívá se k popisu téměř veškerých hmotných objektů.[19]

Modelované plochy bývají zpravidla značně rozsáhlé a rozměry ve směru osy X a Y jsou tedy nepoměrně větší oproti hodnotám ve směru osy Z. Jednotlivé části plochy modelu jsou poté vyjádřeny polohopisně souřadnicemi X, Y a složka výšky je pak vyjádřena pouze jednou hodnotou osy Z pro celou část. Takovéto vyjádření při využití exaktních matematických funkcí je bezproblémové až do situace, kdy se objeví plochy svislé, terénní zlomy nebo převisy. Moderní softwary již bezproblémově řeší i tyto situace. Nicméně se tyto útvary vyskytují zřídka, stejně jako na této měřené lokalitě, a tak se jimi dále zabývat nebudeme.[7]

V dnešní době velkého výběru programů pro zpracování digitálního modelu se prolínají dva možné typy softwaru a CAD systémy nebo programu ke správě GIS. Dle požadovaného výsledku a rozlohy modelu je třeba vybrat správnou variantu. Systémy GIS poskytují jednodušší práci s většími územními celky, možnost jednoduše přidat další mapové prvky jako inženýrské sítě, silnice a další. Nevýhodou je nutná generalizace prvku reliéfu a stupeň rozlišovací schopnosti. Systémy CAD využíváme (jako v tomto případě) pro modelování menšího územního celku, kde je ve výsledku požadována přesnost ve vyjádření lokálních nerovností a prvků (od terénních křivostí po detailní digitální modely budov).[7]

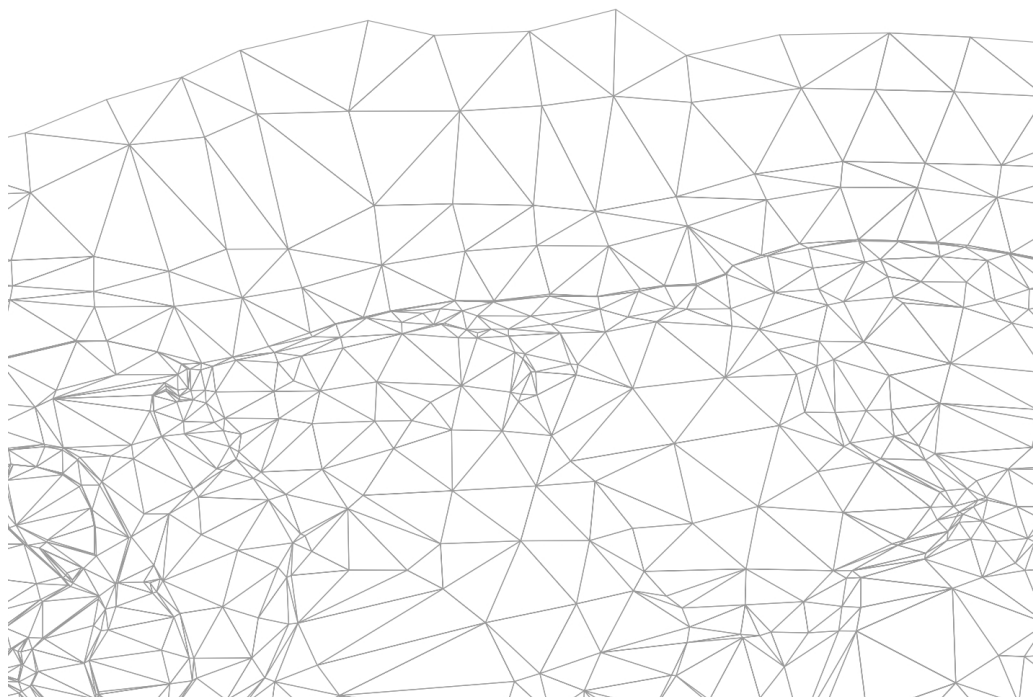
4.1.1. Typy terénních modelů

Tato kapitola rozebírá možnosti digitální realizace terénu, jejich výhody a nevýhody.

Model TIN

Model typu TIN je tvořen triangulací zaměřených bodů, tím vzniknou elementární plošky tvaru nepravidelných rovinných trojúhelníků, které k sobě přiléhají hranami a vrcholy. Tvoří nepravidelný mnohostěn přimykající se k terénu. Interpolace se provádí lineárně v trojúhelnících. Vrcholy trojúhelníků jsou tvořeny body přímo zaměřenými vhodnými metodami. Tento přístup je v současné době u softwarů v komerční sféře nejrozšířenější. Vrcholy trojúhelníků se volí tak, aby co nejvíce vystihovaly průběh terénu a jeho singularity. Tento model je vhodný pro složité terény, nicméně je objemný co se týká dat a vyžaduje lepší hardwarové vybavení.[19][11]

Pro získání co nejvhodnějších trojúhelníků se nejčastěji využívá algoritmu Delaunayho triangulace. Vhodný trojúhelník má vystihovat povrch a měl by být co nejvíce rovnostranný. Toho se zjednodušeně dosahuje tím, že algoritmus vezme tři body, opíše jimi kružnici, když uvnitř neleží bod, tak vytvoří trojúhelník a pokud tam bod leží, tak vybere jiné tři body. Tyto výsledky jsou jednoduše opakovatelné se stejným výsledkem. Požadovaná charakteristika triangulačního procesu je jednoznačný výsledek, který je nezávislý na počátečním bodě nebo na orientaci množiny vstupních bodů. Takto vytvořený TIN povrch je dále povinnými spojnicemi upraven dle skutečného terénu. Výsledný TIN povrch již neodpovídá podmínkám Delaunayho triangulace, tam kde jsou povinnými spojnicemi změněny trojúhelníky sítě.[23]



Obr. 4. 1 Model typu TIN[19]

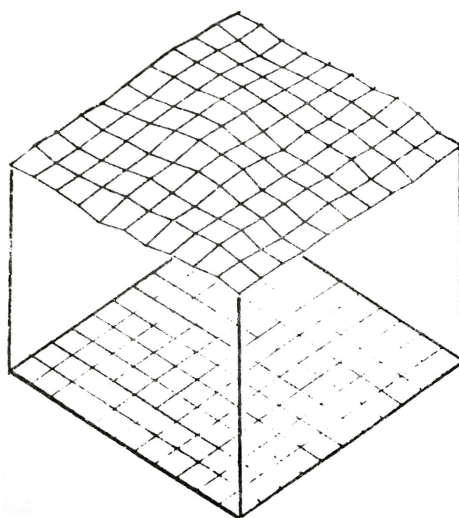
Rastrový model

Rastrový model nezískáme přímo z měřených dat, je to tedy až výsledek zpracování modelu TIN. Elementární plošky jsou zborcené čtyřúhelníky vytvořené nad rovnoměrným rastrem. Tyto plošky lze rozdělit na trojúhelníky nebo je uvažovat jako složitější plochy. Uzly nebývají přímo měřené jako v předchozí variantě, ale jsou z měřených bodů odvozené. Výhodou oproti TIN modelu je maticové uspořádání dat, jež umožňuje lepší automatické zpracování a případné napojení navazujících modelů. Celý rastrový model je definován vypočítanými hodnotami (x,y,z) uzlů rastru. To umožňuje jednodušší transformace modelu nebo jeho generalizaci. Proto může použitelný rastrový formát obsahovat pouze:

- souřadnice jednoho rohu rastru
- úhel natočení rastrové sítě
- rozměr prvku rastru
- matici výškových hodnot rastru [11]

Při nízké úrovni rozlišení rastru se stává nevýhodou, že elementární plošky nemohou sledovat jednotlivé singularity. Při tvorbě modelu území, kde se objevují jako extrémní pláně a jezera nebo vysoké hory a jiné nepravidelnosti, se problém řeší rozdělením

lokality na části s podobným rozložením terénu. Tyto jednotlivé modely se po nezávislém zpracování spojují.[19][7]



Obr. 4. 2 Rastrový model[19]

4.1.2. Zobrazení

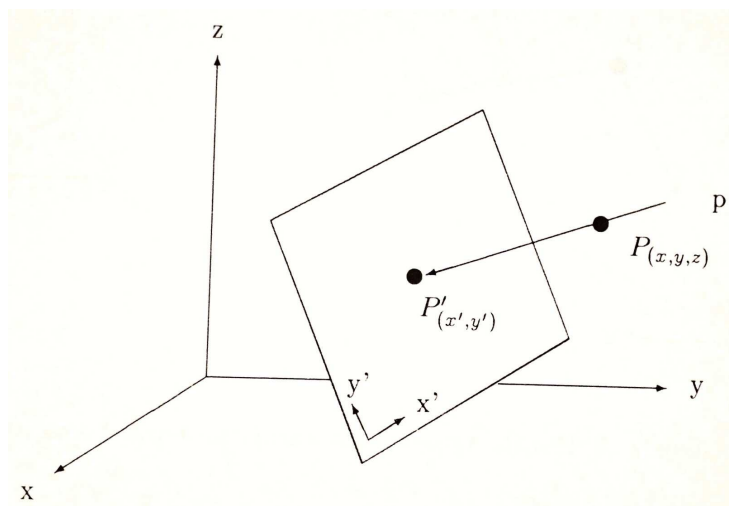
CAD systémy používají pro zobrazení modelu terénu techniky obvyklé pro zobrazení objemových těles. U terénních modelů se setkáváme s rozsáhlými a velmi specifickými daty, proto je kromě klasických metod používána také varianta zobrazení povrchu pomocí vrstevnic v půdorysu. Tato metoda je typická pro DMT systémy hlavně propojením s geodetickými obory, kde jsou vrstevnice konvenční. Dále se používají i jiné specifické metody a kombinace metod, které se jinde nevyskytují.

Problém se objeví tam, kde je snaha o komplexní zobrazení krajiny. Nejde tedy pouze o terén, ale i o vykreslení přírodních a umělých objektů na něm. Proto se přistupuje k vizualizaci terénu a objektů různými technikami, jejichž kombinace umožňuje uživateli dosáhnout vizuálně přesný vzhled.[11]

Promítání do roviny

Převod prostorové geometrie objemových těles do rovinné geometrie se nazývá promítání. Pro řešení této úlohy se využívají promítací aparáty:

- soustava promítacích paprsků,
- průmětna (nemusí být pouze rovina).



Obr. 4. 3 Princip promítání[11]

Dva základní druhy projekce jsou:

- Rovnoběžné (axonometrické, paralelní) promítání, kde ohnisko paprsků se nachází v nekonečnu a paprsky jsou rovnoběžné.
- Středové (perspektivní) promítání, kde se ohnisko paprsků nachází v blízkosti promítaného předmětu.

Výpočet zobrazení se řeší především přiřazení rovinných souřadnic $[x', y']$ k původním prostorovým souřadnicím $[x, y, z]$, tedy zobrazení bodu na průmětnu. Dále také řeší vzdálenost obrazu bodu na průmětně k jeho prostorovému předmětu. Vzdálenost je využívána pro další zobrazovací nástroje a vizualizace.[11]

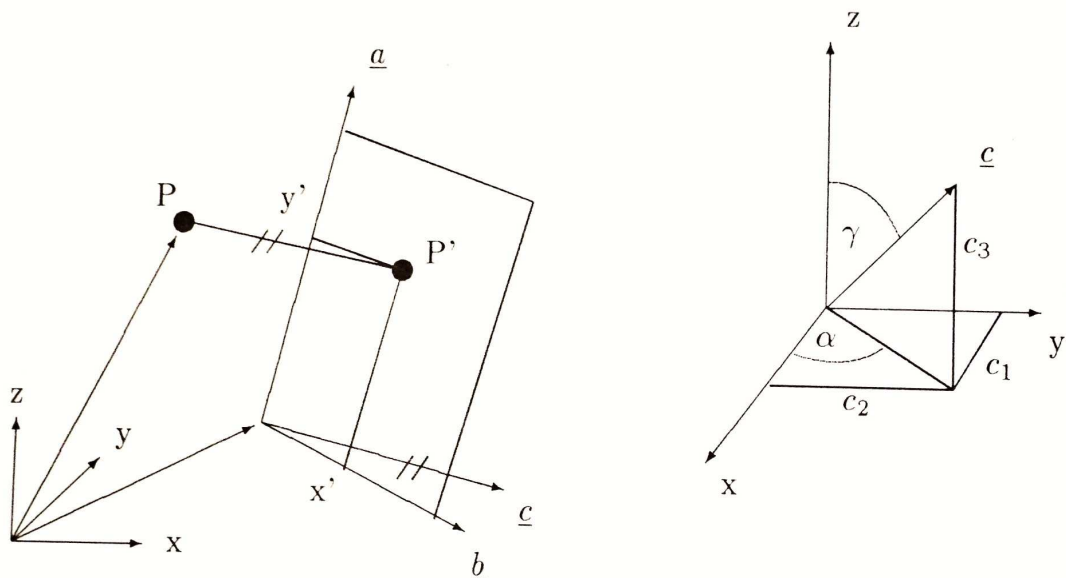
Rovnoběžné promítání

Nejprimitivnější varianta paralelního promítání je tzv. zapomenutí výškové souřadnice, čímž se dosáhne vzniku půdorysu objektu. To samé lze provést pro souřadnici x nebo y a tím získat nárys nebo bokorys.[11]

Rovnoběžné promítání, kdy mají paprsky směr určený vektorem c se nazývá axonometrie. Vektor c je určen dvojicí úhlů azimutu α a zenitové vzdálenosti γ .

Uvážíme-li jednotkovou velikost vektoru c , pak se jeho osové složky budou rovnat:

$$c_1 = \sin \gamma \cos \alpha \quad c_2 = \sin \gamma \sin \alpha \quad c_3 = \cos \gamma.$$



Obr. 4. 4 Princip axonometrie a znázornění směrového vektoru[11]

Podle Obr. 3.4 lze chápat axonometrické souřadnice v průmětně x', y' jako souřadnice v nové souřadné soustavě, určené bodem P' a jednotkovými vektory báze a, b, c . Vektory a, b jsou vzájemně kolmé a jsou kolmé i na vektor c . Platí složky těchto vektorů platí:

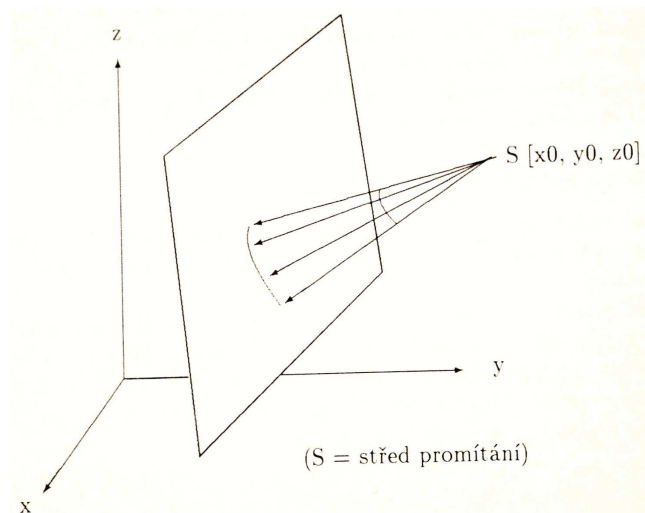
$$\begin{aligned} a_1 &= \sin \alpha & a_2 &= -\cos \alpha & a_3 &= 0 \\ b_1 &= -\cos \alpha \cos \gamma & b_2 &= -\sin \alpha \cos \gamma & b_3 &= \sin \gamma \end{aligned}$$

Takto zvolené vektory báze tvoří levotočivou souřadnicovou soustavu, tedy s opačnou orientací než původní.[11]

Axonometrii v praxi nejčastěji využívají technické výkresy stavebních či strojních objektů z důvodů její relativně snadné ruční tvorby.[11]

Středové promítání

Nejčastější typ středového promítání je lineární perspektiva. Protože je nejbližší k lidskému vidění je také užívána zvláště ve stavebnictví pro zobrazení velkých objektů. Promítací paprsky procházejí společným bodem promítání S . Toto promítání volí za průmětnu rovinu. U výpočtů je třeba znát navíc oproti axonometrii také střed promítání S o souřadnicích $[x_0, y_0, z_0]$.



Obr. 4. 5 Lineární perspektiva[11]

Lineární perspektivy se využívá především u rozsáhlých objektů jako jsou terénní modely. Díky středovému promítání dokáže zobrazit mnohem větší oblast než axonometrie. Pro dosažení zobrazení ještě větších rozloh lze využít speciální typy středových promítání. Jsou to např. cylindrická perspektiva nebo rybí oko.

Cylindrická perspektiva řeší scény, které přesahují možnosti zobrazení lineární perspektivou. Toto promítání nahrazuje rovinou průmětnu válcem. Po promítnutí se válec rozvine do roviny a vznikne panoramatické zobrazení scény. Nevýhodou této metody je, že přímka se zobrazí jako křivka. Tento způsob se tedy využívá tam, kde je třeba zobrazit rozsáhlý celek na malou plochu a jsou zanedbatelné deformace.

Další speciální varianta je rybí oko, kde se promítací rovina nahrazuje koulí. Obraz je poté z koule převeden do roviny ortogonálním průmětem. Velkou nevýhodou je silná deformace přímky v obecnou křivku. Tato deformace narůstá od středu. Využívá se při potřebě zobrazit území rozlehlé jak v podélném, tak v příčném směru na malý formát. Opět musí být zanedbatelné značné optické deformace obrazu.[11]

4.1.3. Vizualizace

Vizualizacemi jsou označovány techniky, kterými je možno vytvořit fotorealistické zobrazení prostorových objektů. Výpočet zobrazení je proveden převodem prostorových souřadnic bodů do roviny. Nejnázornější je tzv. drátový model, ale stejně často se využívají vizualizace s plnými plochami, které dále doplňují nástroje vykreslování.

Jedná se převážně o řešení:

- viditelnosti
- osvětlení a stínování
- přiřazení barev, materiálů a povrchových textur ploch.[11]

4.1.3.1. Viditelnost, osvětlení a stínování modelu

Viditelnost

Při řešení vizualizace scény se jako první řeší viditelnost objektu. Pro řešení tohoto problému se využívají různé algoritmy, které jsou více či méně vhodné. Tato problematika je celkem rozsáhlá, proto algoritmy rozlišujeme dle výsledného typu kresby realizovaného na:

- rastrovém výstupním zařízení (obrazovka, tiskárny),
- vektorovém výstupním zařízení (plotr).[11]

Osvětlení a stínování

Stínováním se na povrchu objektu tvoří simulace realistického osvětlení tak, aby se tím vytvořila iluze trojrozměrnosti. Kvalita a zobrazení stínů je závislá na barevných režimech objektu, použitém materiálu, typu zobrazení, velikosti plošek, do kterých se stíny vykreslují a mnoha dalších faktorech. Tyto faktory ovlivňují kolik dopadajícího světla bude částečně pohlceno nebo odraženo. Podle odrazu světla existuje dělení na odraz:

- rozptylující (diffuse reflection), kde se paprsky odrazí do všech směrů a výsledek je tedy stejný z jakéhokoliv úhlu pozorování. Povrch se zdá matný.
- zrcadlový (specular reflection), kde se paprsky odraží v jednom směru, který je závislý na úhlu pozorování.

Většina algoritmů řešících tento problém je určena pro rastrová zařízení a povrchy objektů aproximuje do sítě rovinných plošek, na kterých tvoří stíny.

Základním stínovacím algoritmem je ploché stínování, ale CAD systémy používají množství různých algoritmů pro různé situace a kvalitu výsledku. Je to:

- Ploché stínování (konstantní, Flat Shading), kde se každá ploška objektu obarví jedním odstínem. Zdroj světla se nachází v nekonečnu.

- Gourardovo stínování spočívá ve vytvoření iluze zaoblenosti. Metoda je podobná ploché s tím rozdílem, že se interpolují rozdíly odstínů plošek a vytváří se hladké přechody. Výsledek je dán aritmetickými průměry normál plošek v jednotlivých vrcholech
- Phongovo stínování je pomalejší, ale vysoce přesná technika pro tvorbu lesklých povrchů. Světelný model počítá se složkami odrazu jak rozptylovými, tak i zrcadlovými. Algoritmus počítá odstíny každého vnitřního bodu plošek, to znamená, že kvalita výsledku je závislá na hustotě bodů zobrazených rastrovým zařízením.
- Torranceho-Sparrowův model řeší problematiku na rozbitém povrchu tvořeného náhodně orientovanými mikroploškami. Výsledek je pak určen jako souhrnný příspěvek všech mikroplošek.
- Ray Tracing je založen na stopování paprsků odražených směrem k pozorovateli. Umožňuje zobrazení, které je jinými metodami velmi náročné nebo nemožné jako je lom světla v objektech, průsvitnost, průhlednost či odrazy a odlesky. Nevýhodou tohoto řešení je extrémní výpočetní náročnost.[21]
- Ray Casting pracuje na stejném principu jako Ray Tracing. Je to vlastně jeho odnož s tím rozdílem, že se počítá s paprskem pouze do doby, kdy se protne s objektem. To tuto metodu dělá mnohem rychlejší, ale neumožňuje tvorbu refrakce a reflexe.
- Radiozita (Radiosity) je nejdokonalejší a taky nejnáročnější metoda, která uvažuje do výpočtu i energetické vlastnosti povrchů objektu. Kvůli energetickým vlastnostem musí být také scény energeticky uzavřené. Metoda je založena na výpočtu rozdílů intenzity dopadajícího, odraženého a pohlceného světla ploškami objektu. Výhodné je chování plošek jako sekundární zdroj světla. Dosahuje se nejrealističtějších vizualizací.[11][2][22]

4.1.3.2. Barvy, materiály a textury

Přiřazení barev je základní a nejprimitivnější typ vizualizace, nicméně nezbytný pro orientaci v modelu a práci s vrstvami. Barvám je možno dát různé styly vykreslování pro tisk např. tak, že se žlutá linie modelu bude vykreslovat fialově. Barvy se určují z 255 indexů normované nebo jinak předdefinované tabulky barev.

Přiřazením materiálu se dosahuje dalšího vylepšení realistického vzhledu vizualizovaného objektu. Materiály představují různé látky jako například ocel, sklo, dřevo, keramika, bavlna a mnohé další. Vlastnosti materiálů lze editovat a tak upravovat odrazivost, průhlednost či texturu.

Přiřazení textury povrchu je vlastně přiložení rastrového obrázku (TIFF, JPG, BMP a další). Jsou to většinou fotografie skutečných povrchů jako kamenná dlažba, dřevo, voda a další. Díky tomu, že se rastrové textury promítají na plochu pomocí souřadné soustavy textur U , V , W je možno s texturou pracovat. To znamená editovat její měřítko, otočení, polohu, jas a mnohé další užitečné specifikace. Výsledek je potom velmi kvalitní, což ovlivňují i náročné algoritmy řešící tyto úlohy.[11][2]

4.1.3.3. Zobrazování modelu terénu

Tato kapitola se zabývá zobrazováním rozsáhlejších objektů jako jsou právě modely terénu, jež vyžadují speciální přístup oproti malým objektům jako je nábytek či automobil. Nejjednodušší varianta je vykreslení drátového modelu po okrajích jednotlivých plátů plátového modelu. Toto řešení však poskytuje minimální prostorovou informaci o objektu.

Praktičtější varianta je často uplatňovaný výpočet řezů terénem. Takové zobrazení je velmi věrné a používají se většinou řezy kolmé na osu x nebo y . Kombinací těchto dvou typů řezu je možné získat iluzi rastrového zobrazení. Ve skutečnosti se však nejedná o čtverce rastru, ale o obecně křivé čtyřúhelníky. Pokud vedeme řezy kolmé na osu z vznikají vrstevnice. Zobrazení vrstevnic v prostorovém promítání má malou vypovídací hodnotu. Jejich promítnutí do půdorysu je však standardním vyjádřením výškopisu.

Zajímavějším typem je kombinace perspektivního nebo axonometrického promítání vrstevnic s jejich promítnutím do půdorysu. Tím vzniká věrné propojení plastického zobrazení a informací vrstevnic. Kombinace je vhodné využít také pro zobrazení terénu

s umělými objekty na něm. Poté se pro terén využije některý z výše uvedených typů a pro umělé objekty se užije nějaké standardní zobrazení (stínování atd.). Tak vznikne jednoznačný kontrast mezi objekty a je to také časově úspornější.

Stále častěji se využívá technika hypsometrie ať už černobílé nebo barevné. Je obarvení modelu v závislosti na výšce. Algoritmicky je tato metoda velmi jednoduchá a výsledek je efektivní i efektní. Čím podrobněji jsou výšky interpolovány a přechody barev hladší, tím vizualizace dodává plastičtější vjem. Je však důležité vhodně zvolit intervaly změn barev v závislosti na výšce, to znamená mít znalosti o výškovém rozložení modelu terénu.[6][1][11]

4.2. TVORBA MODELU V PROGRAMU AUTOCAD CIVIL 3D 2013

AutoCAD Civil 3D je program firmy Autodesk, která se soustředí převážně na vývoj CAD softwarů pro široké spektrum uživatelů. Tento program je založen na platformě AutoCAD Classic. Tato nadstavba umožňuje uživateli téměř veškeré projekční práce týkající se stavebnictví. Dynamický model tedy může zahrnovat data od jejich sběru, přes projekční činnost a její analýzy, simulace procesů, vizualizace, tvorbu dokumentace až po výstavbu. Vlastnosti a nástroje programu umožňují rychle a přesně řešit komplexní úkoly či sdílet centrálně uložená data projektů.[1]

Z pohledu geodetů je tato verze velmi příjemná, protože je možné naimportovat hrubá měřická data, zpracovat je jako v klasických geodetických programech i s možností exportovat protokoly o výpočtu s dosaženými přesnostmi. Program také podporuje kódované měření a jeho zpracování, což dává možnost automaticky vygenerovat spojnice bodů a vytvoření modelu. AutoCAD Civil 3D má také funkce topologických, atributových a dalších volitelných kontrol. Spolupracuje také s GIS daty či ortofotomapou a to bez jakýchkoliv konverzí. Geodetické funkce se neomezuje pouze na zpracování, ale také na tvorbu vytyčovacích prvků stavby a průběžné kontroly stavby či deformací.[1]

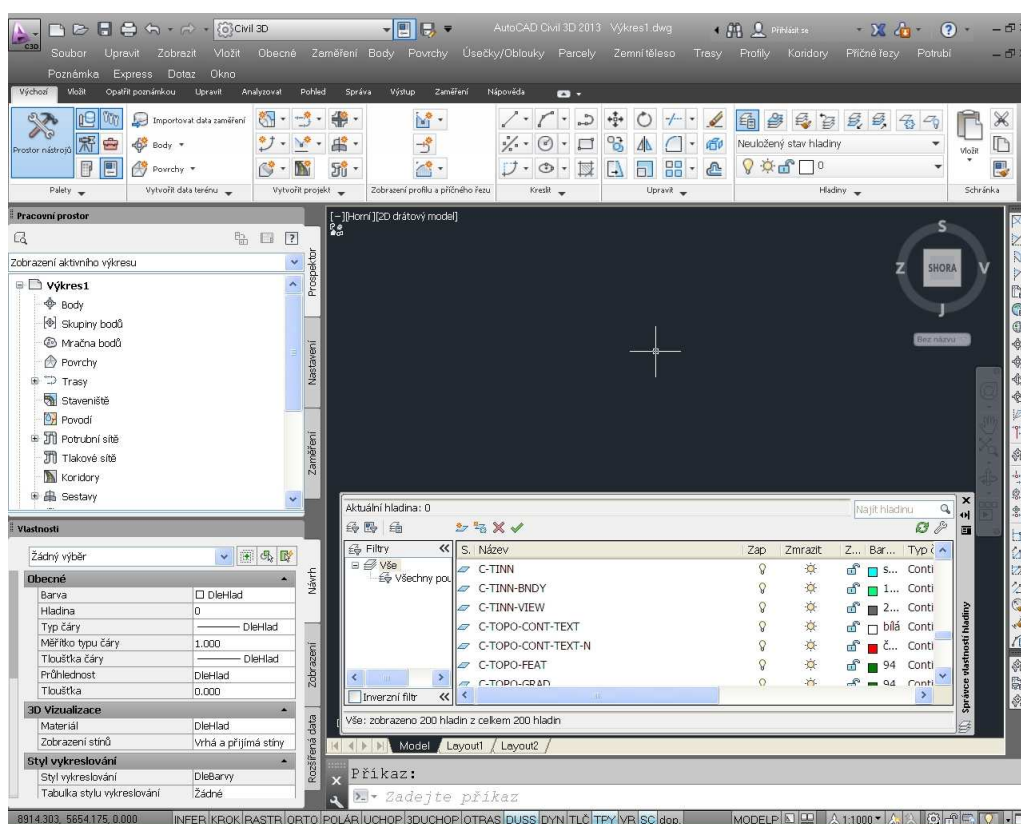
Při tvorbě digitálního modelu terénu je možné použít mnoho podkladů, mimo geodetické zaměření jsou to také vrstevnice, 2D či 3D podklady, grafické prvky jako linie či křivky, výsledky laserového skenování LIDAR či jiná mračna bodů a další. Je také možné použít jejich kombinace. K dispozici je také velká řada nástrojů pro práci, úpravu či vyhlazení modelů. Dále je možné provádět veškeré standardní analýzy nebo vytvořit příčné a podélné profily, vypočítat kubatury a získávat další data z modelu.[1]

Jedna z nejdůležitějších úloh při zpracování digitálního modelu terénu je definování objemů zemních prací tedy výpočet kubatur. AutoCAD Civil 3D počítá kubatury u plošných objektů pomocí porovnání modelu terénu a projektované roviny. U liniových staveb je také možno využít výpočtu z příčných řezů. Výsledky je možno zobrazit jak graficky tak textově.[1]

Samotný model terénu není ideální k prezentaci dokud není provedena jeho vizualizace. K tomuto účelu má tento program velké množství funkcí jako jsou kamery, materiály, rendrování, nastavení světel a nasvícení, vizuální styly, průchod či průlet modelem, animace a mnohé další s možností výstupu do různých obrazových a video formátů. Vyšší profesionality zpracování vizualizací lze dosáhnout pomocí modulu Civil View.[1]

4.2.1. Pracovní prostor Civil 3D

Tato kapitola slouží k seznámení s uživatelským rozhraním AutoCAD 2013 v nadstavbě Civil 3D. Na následujícím obrázku budou přiblíženy základní funkce a orientování v programových nabídkách.



Obr. 4. 6 Uživatelské rozhraní programu AutoCAD Civil 3D 2013

Vrchní lišta obsahuje obecné systémové nástroje pro manipulaci a editaci souboru. Pod ní se nachází volitelná možnost zobrazení klasických panelů nabídek. Panel nabídek je v této verzi nahrazen tzv. kartami s grafickým zobrazením. Ty jsou situovány ihned pod nimi. Tyto karty jsou sice graficky přehledné, nicméně neobsahují veškeré funkce. Proto bylo používáno kombinace obou těchto variant.

Hned první karta *Výchozí* obsahuje nejdůležitější funkci *Prostor nástrojů*, která otevře dialogové okno *Pracovní prostor*. V tomto okně lze nastavit prakticky všechno, protože na záložkách *Prospektor*, *Nastavení* a *Zaměření* se nachází odkazy na všechny objekty a práci provedenou ve výkresu. Nejčastěji byly využívány odkazy na *Skupiny bodů* a *Povrchy* na záložce *Prospektor*.

Dále je v levém dolním rohu dialogové okno *Vlastnosti* využívané především k editaci jednotlivých objektů. Vedle něho se nachází správce hladin s předdefinovanými vrstvami výkresu. Pod ním je standardní příkazový řádek a lišta s funkcemi ovládání kresby. Tato lišta je defaultně přednastavená v zobrazení ikonami. Toto je praktičtější změnit na klasické zobrazení textem, protože je na liště dost místa a ikony nejsou příliš čitelné.

Samotný prostor výkresu obsahuje v levé horní části funkce pohledu a zobrazení. V pravé části detailní funkce pohledu a jeho natočení, volby systému zobrazení a další. Ve spodní části lze přepínat mezi záložkami *Model* a *Layout*. *Layout* je defaultní název listu pro prostor tvorby výkresové dokumentace.

4.2.2. Import souřadnic bodů

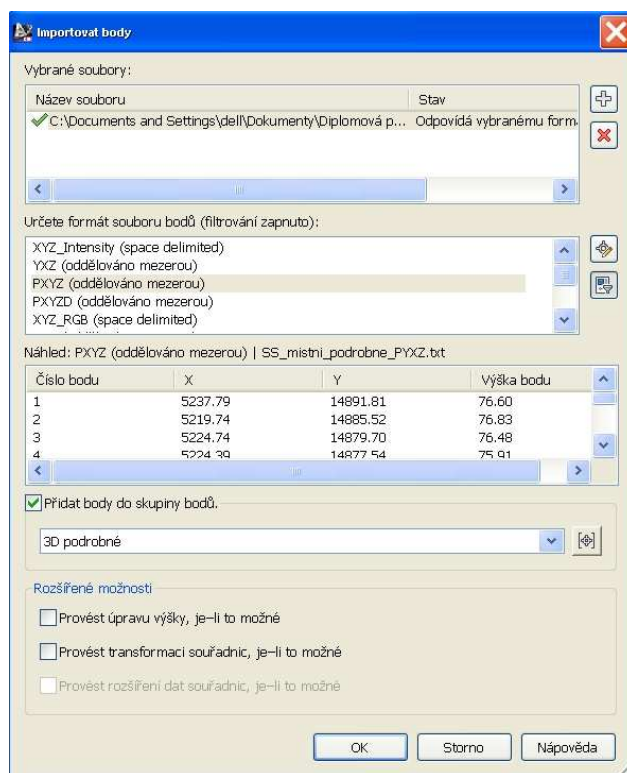
Zakládání výkresu

AutoCAD Civil 3D umožňuje při zakládání výkresu vybrat jednu z přednastavených šablon, které obsahují normované či jinak definované nastavení parametrů výkresu. I přesto je důležité provést nastavení přesností a desetinných míst veškerých veličin, metrického systému, ostatních jednotek a mnoho dalšího dle požadavků projektu. Toto lze nadefinovat na liště *pracovní prostor*, na záložce *nastavení* v nabídce *obecné*.

Import bodů

Data je možné do výkresu importovat několika různými cestami od nahraní surových dat a jejich zpracování, přes různé aplikace či Microsoft Access po import dat bodů v textovém souboru ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*).

Poslední zmíněná varianta byla použita i zde, kde byl vstupní soubor vytvořen v programu Groma 7.0. Na kartě *vložit* je možnost *body ze souboru*, která otevře dialogové okno importu bodů. Zde se vybere požadovaný soubor dat, vybere se jeho formát (např. PXYZ oddělováno mezerou) a přiřadí se do skupiny bodů. Skupině bodů je poté možno vytvořit styl bodů a popisů na kartě *prospektor – skupiny bodů*. Ve vlastnostech lze definovat styl, velikost či barva bodu a popisu, také lze nastavit zobrazení čísel a výšek bodů. Takto importované body jsou ve 3D výkresu připravené ke zpracování. Během tvorby modelu je možnost s nimi manipulovat a dynamicky tak měnit parametry modelu.



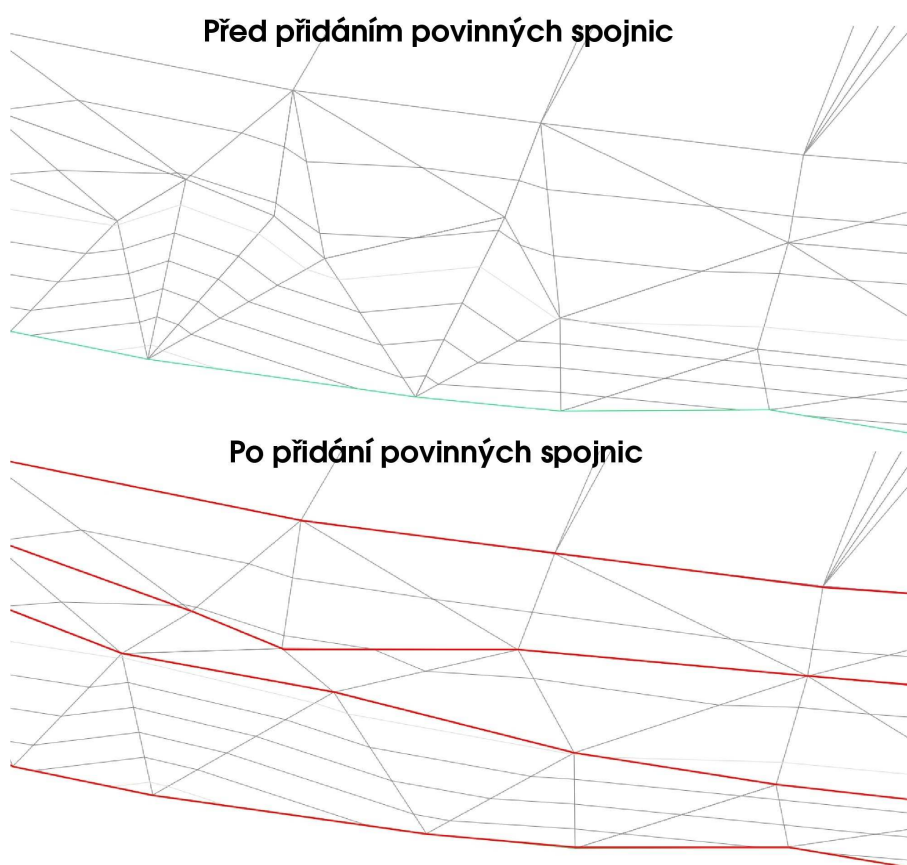
Obr. 4. 7 Dialogové okno importu bodů

4.2.3. Tvorba povrchu

Veškeré funkce pro import, tvorbu a editaci povrchů se nacházejí na kartě *povrchy*. První sada nástrojů umožňuje vytvořit povrch typu TIN nebo typ rastrový. Je možné ho vytvořit z různých typů vstupních dat jako jsou data DEM (*Digital elevation model*), z předchozích modelu TIN, z dat GIS, vstupem hodnot výškového modelu z aplikace Google Earth společně s foto realizací terénu. Nejvíce využívaná je však varianta interpolace povrchu ze skupiny bodů. Vybereme tedy typ povrchu TIN či rastr v klasické

či objemové variantě, jeho vlastnosti a název. Po založení se objeví na kartě *prospektor*, kde je připraven k editaci.

Nejdříve je třeba se věnovat záložce *povrchy – definice*, kde realizujeme povrch. Záložkou *hranice* vybereme uzavřenou křivkou, která omezuje rozsah vytvořeného povrchu. Pro vystižení terénních tvarů a objektů slouží následující záložka *povinné spojnice*. Zde se vytvoří skupina spojnic pod určitým názvem a nastavením. V nastavení lze určit typ linie podle její konstrukce a objektu ,který vystihuje. Je možné také nastavit vyhlazení křivek pomocí poloměru křivosti a délky zakřivení od vrcholů. Linie a křivky povinných spojnic mohou být vykresleny v rovině s tím, že se v nastavení skupiny vybere možnost *výšky z bodů*, tím se dosáhne 3D zpracování. Možné je samozřejmě použít také funkce *3Dkřivka*, která se přimyká k měřeným bodům a tedy i samotnému povrchu. Na následujícím obrázku je zřetelné, k jakým změnám dochází při přidání povinných spojnic. V tomto případě se jedná o přidání terénních zlomů do modelu charakterizovaného triangulací podrobných bodů podle Delaunayho podmínek se zobrazením vrstevnic.

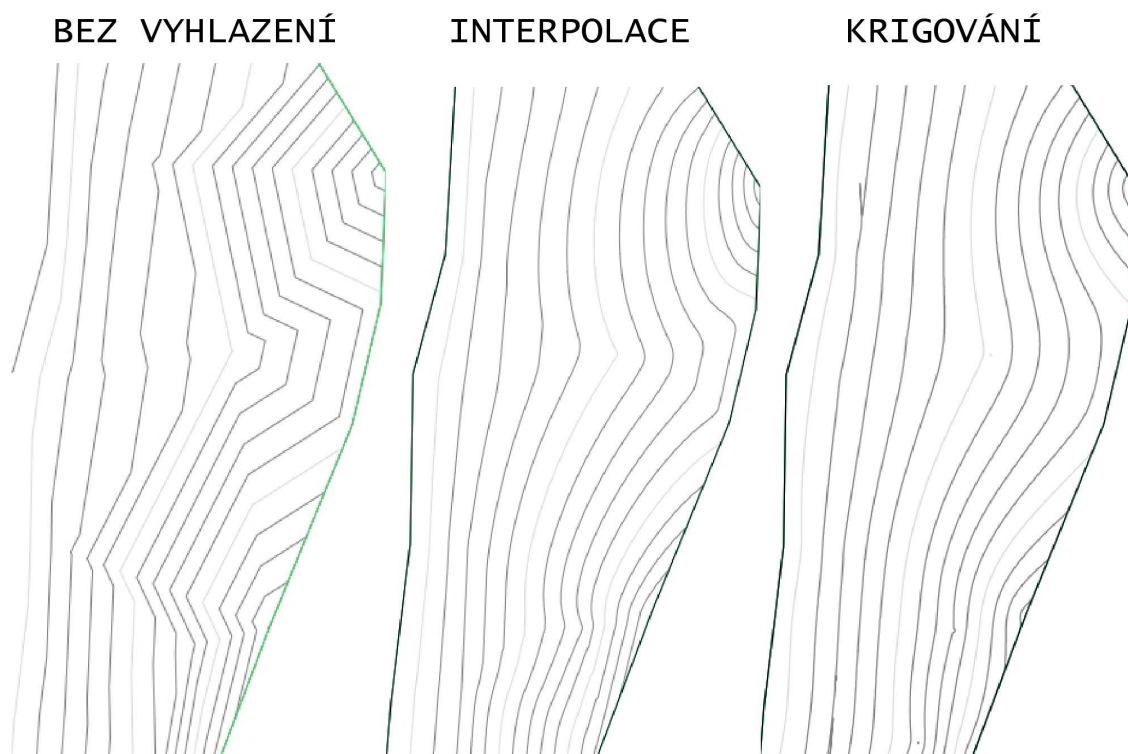


Obr. 4. 8 Ukázka změn při přidávání povinných spojnic

Úpravy povrchů

Vytvořený povrch může být pro komplexní využití příliš detailní a vrstevnice pak ztrácejí schopnost vhodně realizovat povrch. Na kartě *Povrch – Upravit povrch* je funkce *Zjednodušit povrch*, která vyvolá dialogové okno pro nastavení zjednodušení. Tento program využívá metodu *Hranová kontrakce*, která smrští hrany trojúhelníku na jednotlivé body. Umístění bodu, ke kterému je hrana stažena, se zvolí tak, aby došlo jen k minimální změně povrchu. Při každé hranové kontrakci dojde k odstranění jednoho bodu.[2] Nebo využívá metodu *Odstranění bodů*, která odstraňuje body podle jejich hustoty v daném území. Pro obě varianty se musí nastavit procentuální vyjádření redukce.

Na stejném místě se nachází i funkce *Vyhladit povrch*. Program využívá metodu *Interpolace sousedních bodů* nebo *Krigování*. V tomto dialogu je možné upravit jejich nastavení a výstupní umístění. Pro náhled obou metod byla zvolena rozteč v osách 1 m a vyhlazení proběhlo pouze pro část povrchu. To z důvodu vysoké hardwarové náročnosti, kdy pokus o vyhlazení celého modelu skončil vždy pádem systému. I pro tento úsek trvalo vyhlazení několik minut. Z ukázky je zřejmé, že metoda krigování poskytuje plynulejší vrstevnice než metoda interpolace. Na druhou stranu se objevují místní anomálie, které vrstevnice poškozují.



Obr. 4. 9 Ukázka metod vyhlazování

4.2.4. Vizualizace

Tato kapitola se zabývá zobrazením a prezentací výsledného modelu a jeho částí dle požadavků a potřeb zadavatele.

4.2.4.1. Pohledová mapa

Pohledová mapa je vlastně digitální model terénu potažený vhodnou texturou. V tomto případě to je snímek z Google map.

Nejdříve je potřeba získat snímek, který pomocí záložky *Vložit* v panelu nástrojů a funkce *Reference rastrového obrazu* naimportujeme do výkresu. Následně je třeba rastr transformovat na stávající výkres. Pro transformaci rastrových obrazů nabízí Autodesk nadstavbu AutoCAD Raster Design. K této funkci jsem se nedostal a proto jsem využil jednoduchých funkcí AutoCADu pro úpravu snímku. Bohužel se lokalita nachází na rozhraní novějších kvalitních snímků a starších velice špatných snímků a napasování snímku bylo obtížné. Zatímco v severní části, kde jsou snímky lepší, rastr pasuje přesně, tak jižní část je znatelně nepřesná.

Po transformaci se na kartě *Povrch* využije funkce *Potažení texturou*, která umožní vybrat rastr a povrch. Následně povrch automaticky potáhne. Výsledek se zobrazí přepnutím do realistického zobrazení. Pro rendrování je třeba přejít ze zobrazení modelu do zobrazení dokumentace, kde se připraví rozvržení stránky. Funkcí *RPREF* z příkazového řádku získáme dialogové okno pro nastavení parametrů a kvality tisku.



Obr. 4. 10 Ukázka pohledové mapy

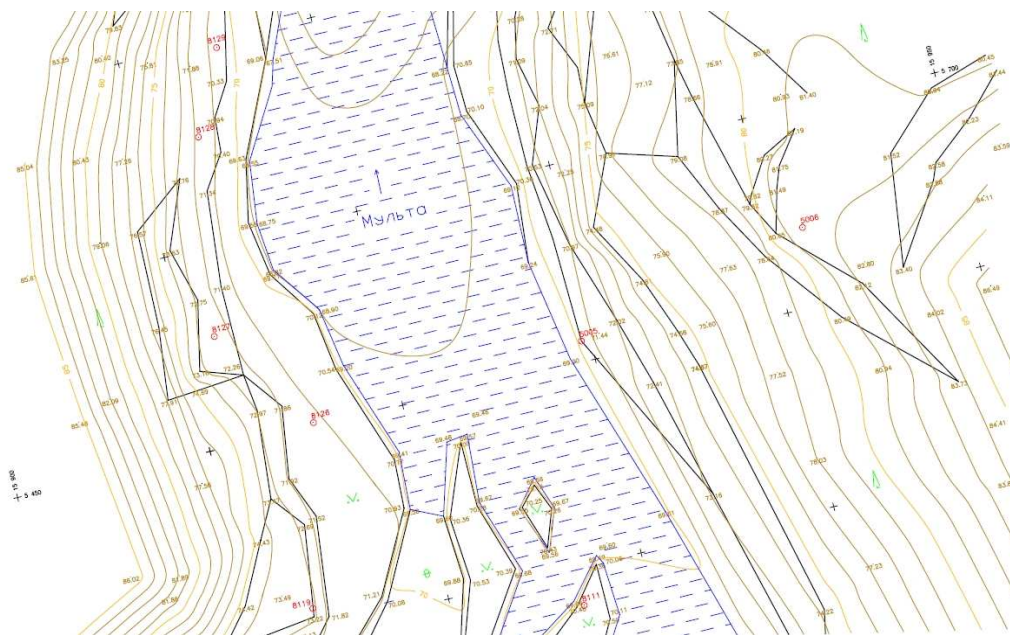
4.2.4.2. Vrstevnicový plán

Tato metoda vizualizace modelu je typově nejvíce zažitá a stále hojně využívaná pro její jednoznačnost a přehlednost. Jedná se o 2D vyjádření modelu rovnoběžným promítáním neboli tzv. půdorys.

Před extrahováním vrstevnic z modelu a vložení do 2D výkresu je třeba vrstevnice vyhladit. Nástroje pro tuto činnost jsou na kartě *Povrchy* možnost *Upravit styl povrchu*. Na záložce *Vrstevnice – Vyhlazení vrstevnic – Vyhladit vrstevnice* zvolíme *Pravda*. To umožní nastavit *Typ vyhlazení*. AutoCAD Civil 3D umožňuje dvě varianty jak toho dosáhnout. První varianta je vyhlazení přidáním vrcholů, kde v dolní části dialogového okna můžeme nastavit poměrné množství přidávaných vrcholů. Tato metoda, pomocí další triangulace povrchu, přidává vrcholy podél vrstevnic. Ty pak propůjčují liniím lépe znatelný zakřivený tvar. Druhou metodou je proložení *Spline* křivky stávající vrstevnicí, ta poskytuje vyhlazenou reprezentaci vrstevnice. U slabších procesorů je třeba vhodně volit počet doplňovaných vrcholů, protože speciálně u kombinace těchto dvou metod dochází k vysokým požadavkům na výkon počítače.

Vrstevnice se z vyhotoveného modelu terénu získávají pomocí funkce *Extrahovat objekty z povrchu* na kartě *Povrchy*. Takto vybrané linie je dále možné upravovat pro potřeby rovinného výkresu.

Vrstevnicový plán musí také obsahovat liniově vyjádřené singularity terénu a výškový popis vrstevnic.



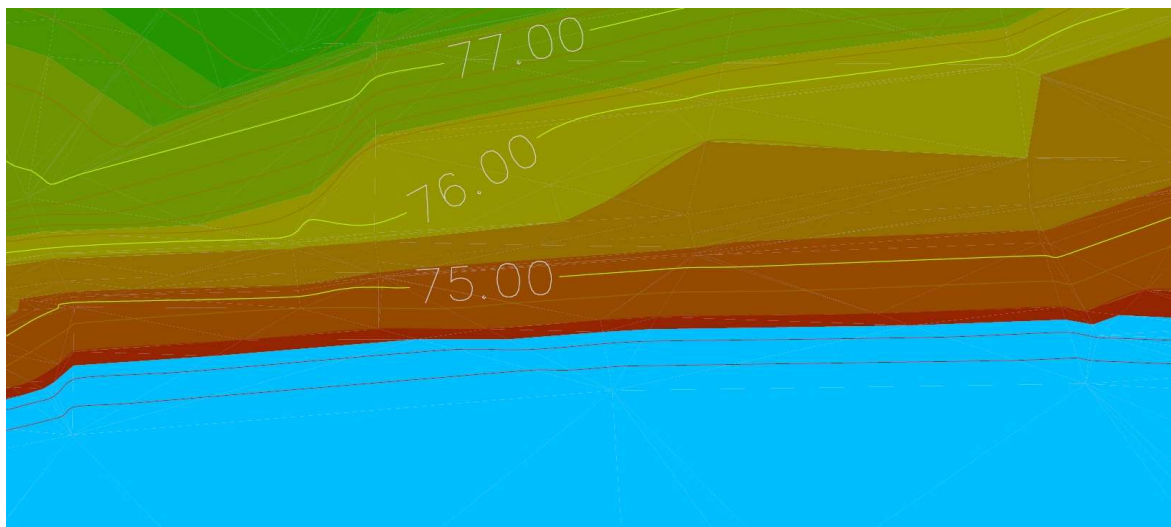
4.2.4.3. Analýzy modelu

Důležitým nástrojem AutoCADu Civil 3D jsou analýzy modelu terénu. Ty obsahují několik typů analýz jako je barevná hypsometrie, řešení sklonů a spádů prezentovaných šipkami nebo barevnými ploškami, řešení povodí a odtoků kapky vody, tvorba podélných a příčných profilů a další. Všechny tyto funkce jsou s modelem dynamicky propojeny a tudíž se mění v závislosti na provedených úpravách modelu.

Barevná hypsometrie

Jedná se o kartografickou techniku znázornění terénního reliéfu na mapě pomocí vrstevnic a plošného vybarvení výškových vrstev mezi nimi. Vizualizace hypsometrií se v AutoCADu Civil 3D realizuje upravením stylu povrchu. Dialogem *Prospektor* vyvoláme na daném povrchu dialogové okno *Upravit styl povrchu*. Na záložce *Vrstevnice* si vhodně nadefinujeme a vyhladíme vrstevnice. Záložka *Analýza* poskytuje nastavení zobrazení sklonů, výšek a směrů. V záložce *Výšky* tedy definujeme parametry požadovaného zobrazení. Nastavíme barevné schéma, způsob zadání palety barev a další hodnoty zobrazení. Tím je formát nastaven a je nutné jej aktivovat v dialogovém okně *Vlastnosti povrchu*, kde ho lze v záložce *Analýza* nastavit na vhodné hodnoty vizualizace.

Pro ukázkou barevné hypsometrie byla vybrána barevná paleta *Terén* s tím, že barva vystihující výškovou kótu jezera byla pro názornost zaměněna modrou. Vedlejší interval vrstevnic byl nastaven na hodnotu 0,2 m a hlavní na hodnotu 1 m. To z důvodu zobrazení malého úseku modelu, tak aby bylo dostatečně detailní.

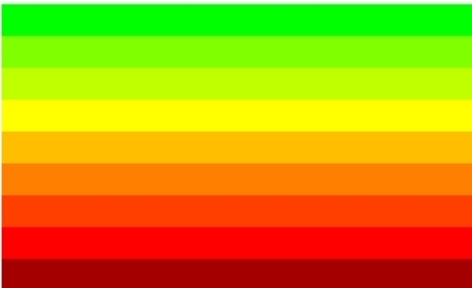


Obr. 4. 12 Ukázka hypsometrické mapy

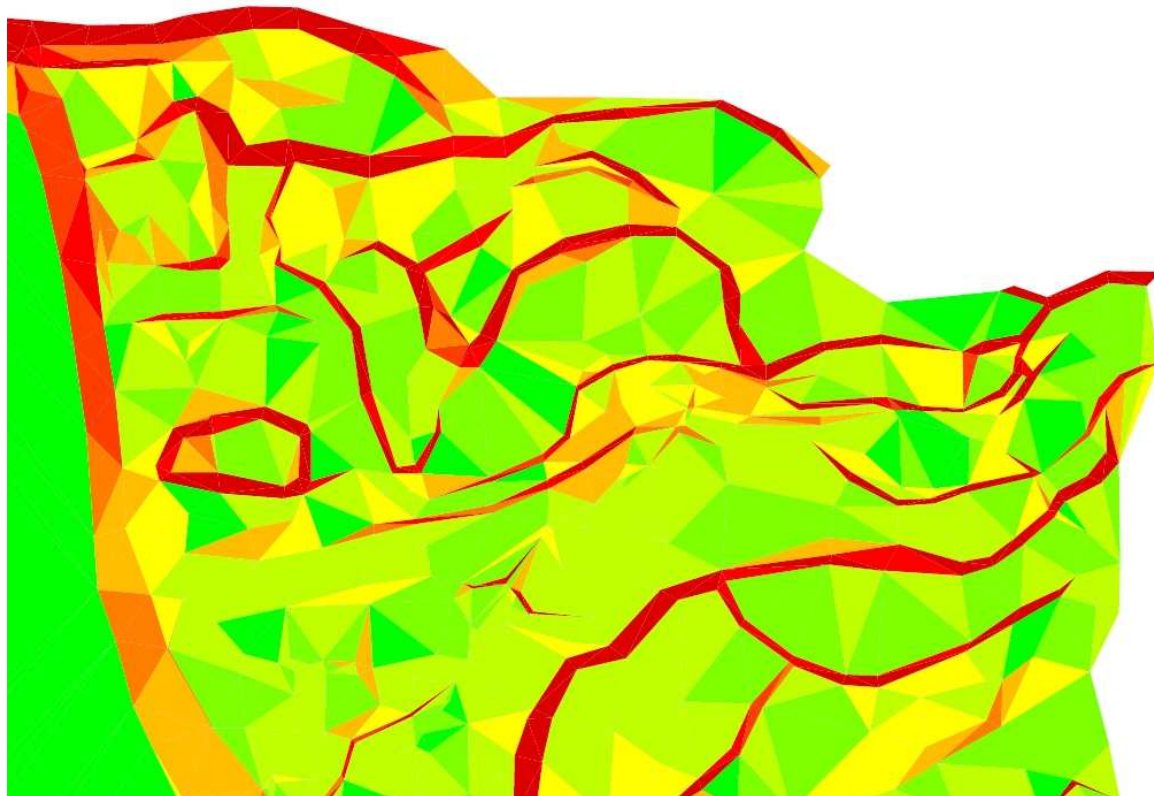
Analýza sklonů

Mapa sklonů vyjadřuje svahové poměry terénu pomocí barevného tónování ploch. To znamená, že čím větší sklon má plocha tím tmavší je její zbarvení. Tato metoda není závislá na orientaci ploch ke světovým stranám ani na výšce, v které se nachází.

Samotný postup vypracování této analýzy je skoro shodný jako u barevné hypsometrie a tudíž nebude zmiňován. Pro ukázkou sklonové mapy bylo zvoleno červené tónování pro dobrý kontrast jeho odstínů. Sklony jednotlivých tónů barvy lze interaktivně zadat podle využití sklonové mapy. Zde byly využity hodnoty dle tabulky níže.

ID	Minimální sklon	Maximální sklon	Schéma: Hodnoty zobrazené červeně
1	0.0000%	1.0000%	
2	1.0000%	2.0000%	
3	2.0000%	4.0000%	
4	4.0000%	6.0000%	
5	6.0000%	9.0000%	
6	9.0000%	13.0000%	
7	13.0000%	15.0000%	
8	15.0000%	20.0000%	
9	20.0000%	100.0000%	

Tab. 4. 1 Rozsah hodnot sklonů pro vytvoření sklonové mapy



Obr. 4. 13 Ukázka sklonové mapy

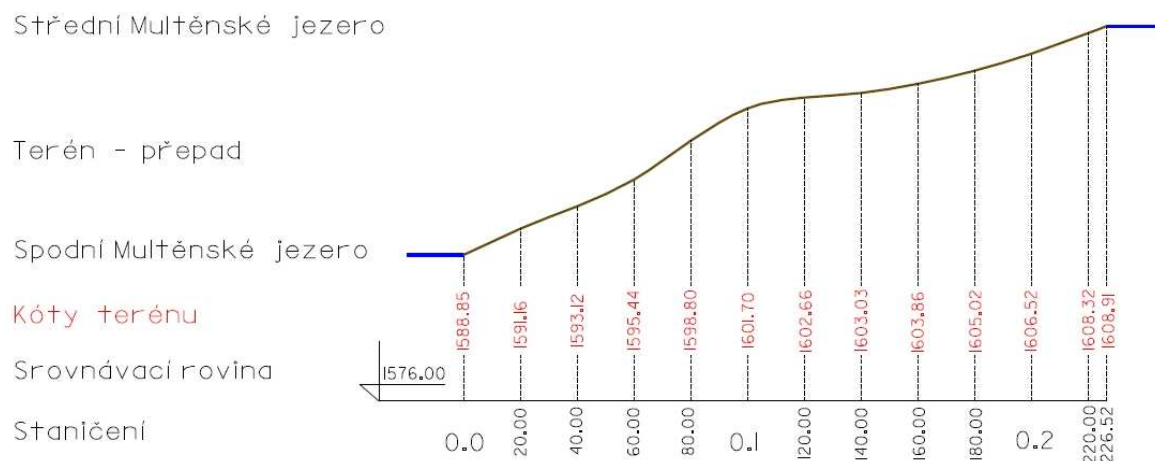
4.3. KONTROLNÍ ZAMĚŘENÍ HLADIN JEZER

Součástí projektu bylo určení převýšení hladin spodního a středního jezera na toku řeky Multy. Toto je s ohledem na celkový projekt značně limitující, protože jeden z požadavků byl, aby se jezera za žádných okolností nemohla spojit v jedno. Celý projekt je koncipován tak, aby bylo okolí jezera co nejméně dotčeno následnými pracemi. Podmínky pro udržení místní biosféry a minimální ekologické poškození byly nutností z důvodu, že se celá lokalita nacházela v chráněném území.

Data pro určení převýšení byla interpolována z již vyhotoveného digitálního modelu terénu. Do podrobného měření byla podmínka pro určení hladiny středního jezera zahrnuta, a proto byla metodou RTK zaměřena i s přepadem mezi jezery.

Pro názornost byl vypracován podélný profil přepadu mezi Spodním a Středním Multěnským jezerem viz. obrázek níže. Z tohoto profilu je zřejmé výškové rozložení terénu mezi jezery, kde výškový rozdíl hladin jezer je 20,06 m. Předběžné zvýšení hladiny spodního jezera by se mělo pohybovat do hodnoty 10 m a tím je jasné, že tyto ekologické podmínky budou splněny. Přírodní přepad je tvořen balvanovitým územím o délce přes 200 m a šířce přibližně 70 m. Podélný profil vystihuje hladiny obou jezer a mezi nimi výškové poměry dna přepadu.

Podélný profil přepadu mezi Spodním a Středním Multěnským jezerem



Obr. 4. 14 Podélný profil přepadu

4.4. VÝPOČET KUBATUR ZÁTOPY

Jedním z důvodů tohoto zaměření byl požadavek od projekční kanceláře na předběžný výpočet objemového nárůstu kubatur vody po vystavění hráze. Tyto výpočty jsou důležité pro následnou implementaci do projektu, kde určují zatěžování konstrukce hráze. Také jsou nezbytné pro projektování vodních elektráren tak, aby maximálně využily potenciál nadržené vody a aby potrubí mezi jednotlivými elektrárnami bylo vhodně dimenzované.

AutoCAD Civil 3D 2013 poskytuje dvě možnosti určení objemu zemních prací. Pro plošná území se využívá metoda výpočtu mezi dvěma plochami. Pro liniové stavby se užívá výpočtu z příčných řezů, případně kombinace obou metod. Pro tento projekt byla použita varianta výpočtu objemových rozdílů mezi dvěma plochami. Základním povrchem byl volen výsledný digitální model terénu a srovnávací povrch byl vytvořen jako rovinný v požadované výšce nad hladinou. Vytvořený model terénu je zaměřen dle požadavků projektanta do převýšení devíti metrů nad hladinu jezera ke stavu hladiny v době měření. Následný výpočet kubatur je realizován pro celé území omezené předběžnou polohou hráze. Objemové změny jsou uvedeny v tabulce, která obsahuje hodnoty pro srovnávací roviny začínající na úrovni jezera s krokem převýšení 1 m. Výsledky nejsou zcela přesné, protože výpočty nezahrnují objem stávajícího jezera. Nicméně pro účely projektu je tato informace naprosto zbytečná. Pro představu o změně lokality po navýšení hladiny jsou do tabulky přidány hodnoty plochy zatopeného území a délky zátopové čáry.

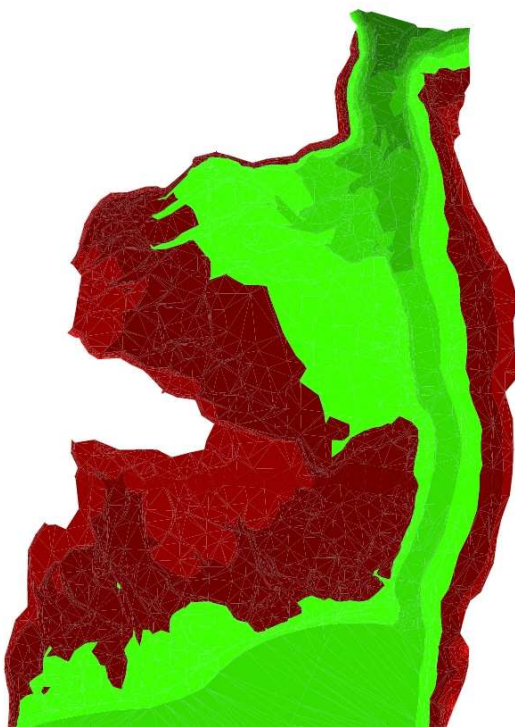
Výška srovnávací roviny nad hladinou jezera [m]	Hloubka přehrady u paty hráze [m]	Objem zátopy pod srovnávací rovinou [m ³]	Plocha zatopeného území [m ²]	Délka zátopové čáry [m]
0	6	158512	1933618	9118
1	7	2130373	2007434	9566
2	8	4172564	2076763	9439
3	9	6294263	2175432	10118
4	10	8513394	2268948	10519
5	11	10833570	2368904	10984
6	12	13246585	2463488	11059
7	13	15763860	2567348	10991
8	14	18376543	2651993	10699
9	15	21069009	2729224	10345
Hodnoty stávající hladiny jezera			1836596	6461

Tab. 4. 2 Tabulka předběžných hodnot výškových úrovní zátopy

Postup výpočtu

Pro výpočet jsou nutné dva definované povrchy vytvořené podle kapitoly 4.2.2 Tvorba povrchu. Příkazem *VolumesDashBoard* vyvoláme panoramatické okno pro tvorbu objemových povrchů. Zde zvolíme možnost *Vytvořit nový povrch pro výpočet objemu*, která nám otevře dialogové okno pro definování názvu, popisu a stylu povrchu. Dále v něm definujeme základní a srovnávací roviny. Tím se vypočítá a vytvoří objemové těleso pro celé území. Můžeme však přidat, jako v tomto případě, uzavřenou křivku omezující rozsah zahrnutého území do výpočtu. Pravým tlačítkem myši lze vyvolat dialogové okno vlastností povrchu, kde je vhodné nastavit hypsometrickou vizualizaci povrchu. V panelu *Analýzy* pak nastavit rozsah barevné hypsometrie od srovnávací výšky a v požadovaném kroku. Tímto dostaneme přehledně vizualizovaný náčrtek, kde zelená škála barev označuje zatopenou oblast. Výsledky objemových výpočtů jsou zobrazeny v panoramatickém okně a lze je exportovat do protokolu nebo vložit do výkresu.

Výpočet ploch a zátopových čar byl proveden funkcí *Extrahovat objekty z povrchu* z nabídky *Povrchy*. Tím bylo možné rozložit stávající TIN povrch na jednotlivé vrstevnice, které definují zátopové čáry. Ty byly upraveny do tvaru, kde vystihovaly i polohu hráze. Byly z nich vytvořeny uzavřené křivky, které poskytovaly pomocí funkce *Vlastnosti* požadované hodnoty ploch a délek zátopových čar.



Obr. 4. 15 Ukázka zátopové oblasti

5. ZÁVĚR

Hlavním úkolem této práce bylo zaměření a vytvoření 3D modelu terénu v dané lokalitě. Dále bylo požadováno realizovat výpočty kubatur zátopy plánované přehrady, kontrolně zaměřit převýšení hladin Středního Multěnského jezera a Spodního Multěnského jezera a zmapovat území pro projekt hráze. Tyto úkoly byly splněny podle požadavků zadavatele.

Zaměření lokality bylo realizováno s týdenním předstihem oproti původnímu třítydennímu plánu. Surová data byla v terénu předběžně kontrolována pro vyloučení hrubých chyb a omylů v měření. Měření bylo vypočteno a vyrovnáno v mezích požadované přesnosti. Pro realizaci projektu byl vhodně zvolen místní souřadnicový systém doplněn o identické body pro transformaci do systému ITRS2008. Souřadnice identických bodů v systému ITRS2008 byly určeny metodou PPP.

Digitální model terénu byl vytvořen v programu AutoCAD Civil 3D 2013 a byl upraven pro další využití. Následně byl vizualizován metodou hypsometrie a potažením texturou leteckého snímku. Výsledný povrch byl také analyzován a byla vytvořena mapa sklonů.

Podrobnější zaměření území projektované hráze je zahrnuto do výsledného digitálního modelu terénu. Pro úplnost však byla vytvořena účelová mapa tohoto území v měřítku 1:1000, ta je součástí diplomové práce v elektronické podobě.

Kontrolní zaměření převýšení hladin jezer bylo realizováno metodou RTK. Výsledkem je podélný profil přírodního přepadu mezi jezery a je obsažen přímo v textu.

Výpočet kubatur zátopy plánované přehrady byl realizován analýzou výkopů a násypů přímo na digitálním modelu terénu. Výsledné objemy byly vztaženy k výšce nad stávající hladinou jezera, jsou uvedeny v tabulce včetně doplnění informací o zatopené ploše, zátopové čáře a hloubce u paty hráze.

Tato práce shrnuje teoretické a praktické poznatky o problematice projektu, poskytuje veškeré požadované výsledky, a lze ji také využít jako návod pro tvorbu digitálního modelu terénu v programu AutoCAD Civil 3D.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] AutoCAD Civil 3D: Brožura. In: [online]. Autodesk, 2012 [cit. 2013-02-23]. Dostupné z: http://www.cadstudio.cz/dl/autocad_civil_3d_2013.pdf
- [2] AUTODESK. *Nápověda pro AutoCAD Civil 3D 2013*.
- [3] Berechnungsdienste für Precise Point Positioning (PPP) /M.Giese, J.Kaczkowski, A. Lange, Ch. Stiegert, J. Wiegratz, P. Zakrzewski, L. Wanning. - In: AVN Allg.Vermess.-Nachr. - ISSN 0002-5968. Roč.118, č.3 (2011), s.89-94
- [4] FIŠER, Zdeněk a VONDRÁK, Jiří. *Mapování I: Průvodce předmětem mapování I*. Brno, 2005. Studijní opora. VUT v Brně.
- [5] GAPS [online]. 2013 [cit. 2013-03-27]. Dostupné z: <http://gaps.gge.unb.ca/>
- [6] KLIMÁNEK, Martin. Digitální modely terénu. In: [online]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://mapserver.mendelu.cz/dmt>
- [7] KLOUDA, Petr. *TVORBA DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU*. Brno, 2008. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Kalvoda.
- [8] KRBÁLKOVÁ, Marcela. *Zaměření románských sklepních prostor v Praze* [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58119. Diplomová práce. VUT Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc.
- [9] KOVÁŘ, Jan. *TVORBA DIGITÁLNÍHO MODELU TERÉNU*. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Kalvoda.
- [10] *Mapy Google* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <https://maps.google.cz/>
- [11] MAYER, Petr. *Počítačové modelování krajiny*. Praha: ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01389-8.
- [12] NEVOSÁD, Zdeněk a VITÁSEK, Josef. *GEODÉZIE III: PRŮVODCE PŘEDMĚTEM GEODÉZIE III*. Brno, 2005. Studijní opora. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [13] OPATŘILOVÁ, Irena. Seminář GPS: Metody určování polohy a sítě permanentních referenčních stanic. In: [online]. Brno: VUT, 2012 [cit. 2013-02-09]. Dostupné z: http://moodle1x.fce.vutbr.cz/file.php/282/Opatrilova/Seminar_GPS_OPA_2.pdf
- [14] Planetolog.ru. [online]. 2007 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://planetolog.ru/>

- [15] ПОРТАЛ УСЛУГ. *Публичная кадастровая карта* [online]. 4.01.429.3. 2013 [cit. 2013-02-10]. Dostupné z: <http://maps.rosreestr.ru/PortalOnline/>
- [16] *Slovník VÚGTK* [online]. 2005 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovník/index.php>
- [17] *The International Terrestrial Reference Frame (ITRF)* [online]. 2013 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://itrf.ensg.ign.fr/>
- [18] Totální stanice TOPCON GPT-9003. [online]. [cit. 2013-01-31]. Dostupné z: <http://recenze.geoobchod.cz/totalni-stanice-topcon-gpt-9003-m/>
- [19] URBAN, Jiří. *Digitální model terénu*. Praha, 1991. Skripta. ČVUT.
- [20] *Vodohospodářská zařízení I* [online]. 2013 [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/index.html>
- [21] *Wikiknihy* [online]. 2011 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://cs.wikibooks.org/>
- [22] *Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/>
- [23] *Západočeská univerzita - geomatika* [online]. 1991 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://gis.zcu.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BMP – Bitmap
CAD – Computer-Aided Design
CSRS – Canadian Spatial Reference System
ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální
DEM – Digital Elevation Model
DMR – Digitální Model Reliéfu
DMT – Digitální Model Terénu
DORIS – Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
EOP – Earth Orientation Parameters
ETRS – European Terrestrial Reference System
GAPS – GPS Analysis and Positioning Software
GAZ – Горьковский автомобильный завод
GIS – Geographic Information Systems
GLONASS - ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система
GNSS – Global Navigation Satellite System
GPS – Global Positioning System
ICRF – International Celestial Reference Frame
ICRS – International Celestial Reference System
IERS – International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGS – International GNSS Service
ITRS – International Terrestrial Reference System
ITRF – International Terrestrial Reference Frame
JPG – Joint Photographic Group
LCD – Liquid-Crystal Display
LIDAR – Light Detection and Ranging
LLR – Lunar Laser Ranging
PPP – Precise Point Positioning
PZ-90 – Geografický referenční systém
RINEX – Receiver Independent Exchange Format
RTK – Real Time Kinematic
SD – Secure Digital

SLR – Satellite Laser Ranging

TIFF – Tagged Image File Format

TIN – Triangulated Irregular Network

UAZ – Ульяновский автомобильный завод

UTC – Coordinated Universal Time

UTM – Universal Transverse Mercator

VLBI – Very-Long-Baseline Interferometry

VÚGTK – Výzkumný Ústav Geodetický, Topografický a Kartografický

WGS – World Geodetic System

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

<i>Obr. 2. 1 Měřená lokalita[10]</i>	9
<i>Obr. 2. 2 Mapa Ruska a Altajské republiky[14]</i>	10
<i>Obr. 2. 3 Panorama části lokality – Spodní Multěnské jezero</i>	11
<i>Obr. 2. 4 Topografická mapa středního měřítká 1:200 000</i>	14
<i>Obr. 2. 5 Mapa bodů ITRF2008[17]</i>	17
<i>Obr. 3. 1 Topcon GPT-9003A</i>	19
<i>Obr. 3. 2 Ukázky specifického vybavení v praxi</i>	20
<i>Obr. 3. 3 Výběr fotografií terénu na měřené lokalitě</i>	21
<i>Obr. 3. 4 Závislost přesnosti určení polohy na čase observace[5]</i>	23
<i>Obr. 3. 5 Schéma měření RTK[13]</i>	27
<i>Obr. 3. 6 Náhled části měřické sítě</i>	28
<i>Obr. 3. 7 Schéma mapování lokality</i>	29
<i>Obr. 3. 8 Ukázka polního náčrtu</i>	32
<i>Obr. 4. 1 Model typu TIN[19]</i>	35
<i>Obr. 4. 2 Rastrový model[19]</i>	36
<i>Obr. 4. 3 Princip promítání[11]</i>	37
<i>Obr. 4. 4 Princip axonometrie a znázornění směrového vektoru[11]</i>	38
<i>Obr. 4. 5 Lineární perspektiva[11]</i>	39
<i>Obr. 4. 6 Uživatelské rozhraní programu AutoCAD Civil 3D 2013</i>	44
<i>Obr. 4. 7 Dialogové okno importu bodů</i>	46
<i>Obr. 4. 8 Ukázka změn při přidávání povinných spojnic</i>	47
<i>Obr. 4. 9 Ukázka metod vyhlazování</i>	48
<i>Obr. 4. 10 Ukázka pohledové mapy</i>	49
<i>Obr. 4. 11 Ukázka části vrstevnicového plánu</i>	50
<i>Obr. 4. 12 Ukázka hypsometrické mapy</i>	51
<i>Obr. 4. 13 Ukázka sklonové mapy</i>	52
<i>Obr. 4. 14 Podélný profil přepadu</i>	53
<i>Obr. 4. 15 Ukázka zátopové oblasti</i>	55
<i>Tab. 3. 1 Souhrnná tabulka výchozího bodového pole</i>	22
<i>Tab. 3. 2 Ověření spolehlivosti jednotlivých aplikací PPP</i>	24
<i>Tab. 3. 3 Souřadnice výchozích bodů a ověření spolehlivosti určení souřadnic v systému ITRS 2008</i>	25
<i>Tab. 3. 4 Závislost doby observace na délce vektoru[13]</i>	26
<i>Tab. 4. 1 Rozsah hodnot sklonů pro vytvoření sklonové mapy</i>	52
<i>Tab. 4. 2 Tabulka předběžných hodnot výškových úrovní zátopy</i>	54

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Schéma měřické sítě
Příloha č. 2	Mapa barevné hypsometrie
Příloha č. 3	Sklonová mapa
Příloha č. 4	Pohledová mapa
Příloha č. 5	Polní náčrty (elektronicky)
Příloha č. 6	Výpočetní protokoly (elektronicky)
Příloha č. 7	Seznam souřadnic (elektronicky)
Příloha č. 8	Digitální model terénu (DMT_Multa.dwg)
Příloha č. 9	Vrstevnicový plán území hráze (hraz.dwg)

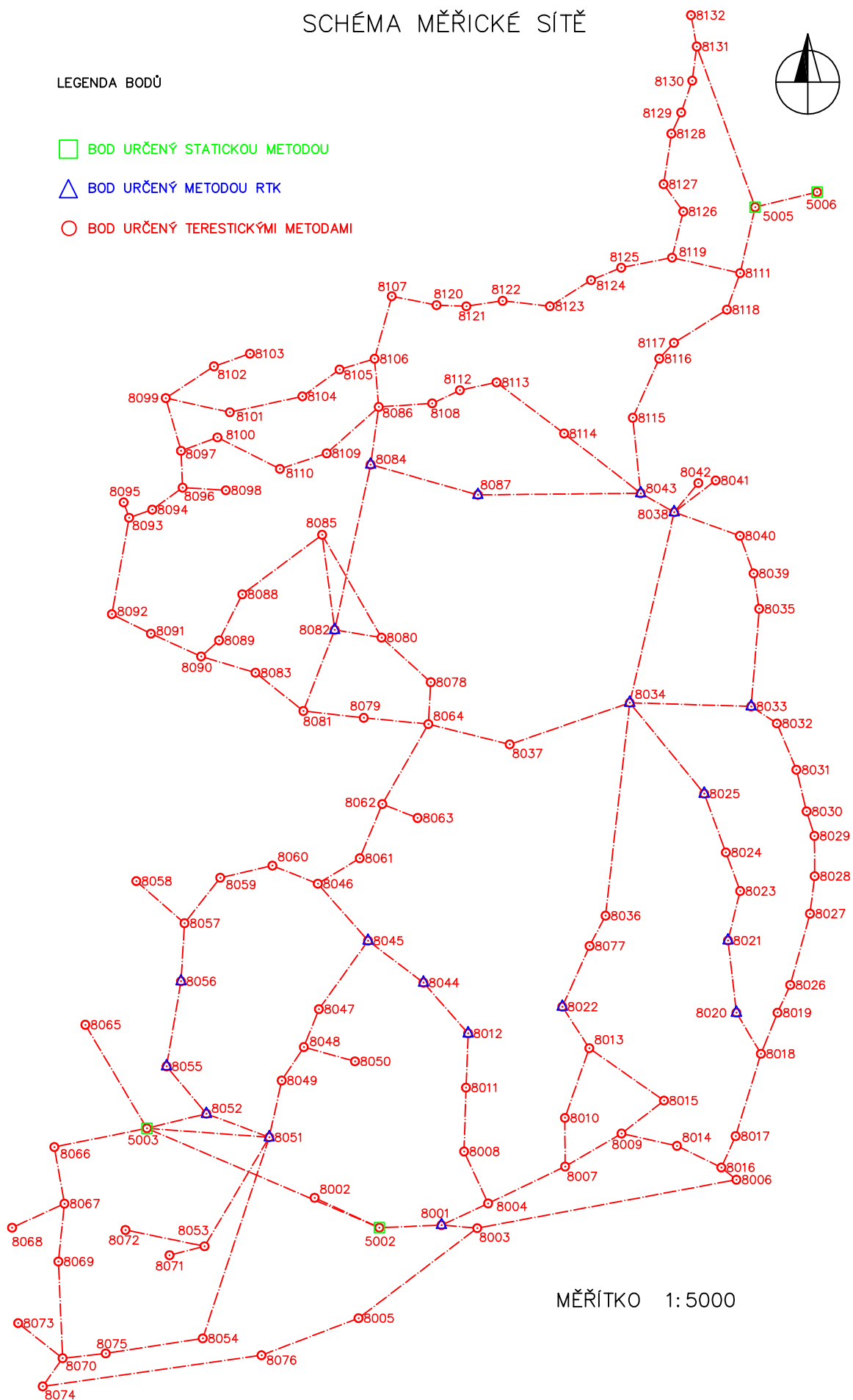
SCHÉMA MĚŘICKÉ SÍTĚ

LEGENDA BODŮ

□ BOD URČENÝ STATICKOU METODOU

△ BOD URČENÝ METODOU RTK

○ BOD URČENÝ TERESTICKÝMI METODAMI



MĚŘÍTKO 1:5000

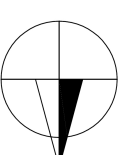
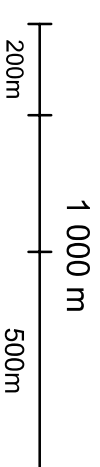
BAREVNÁ HYPSONOMETRIE

Příloha č. 2



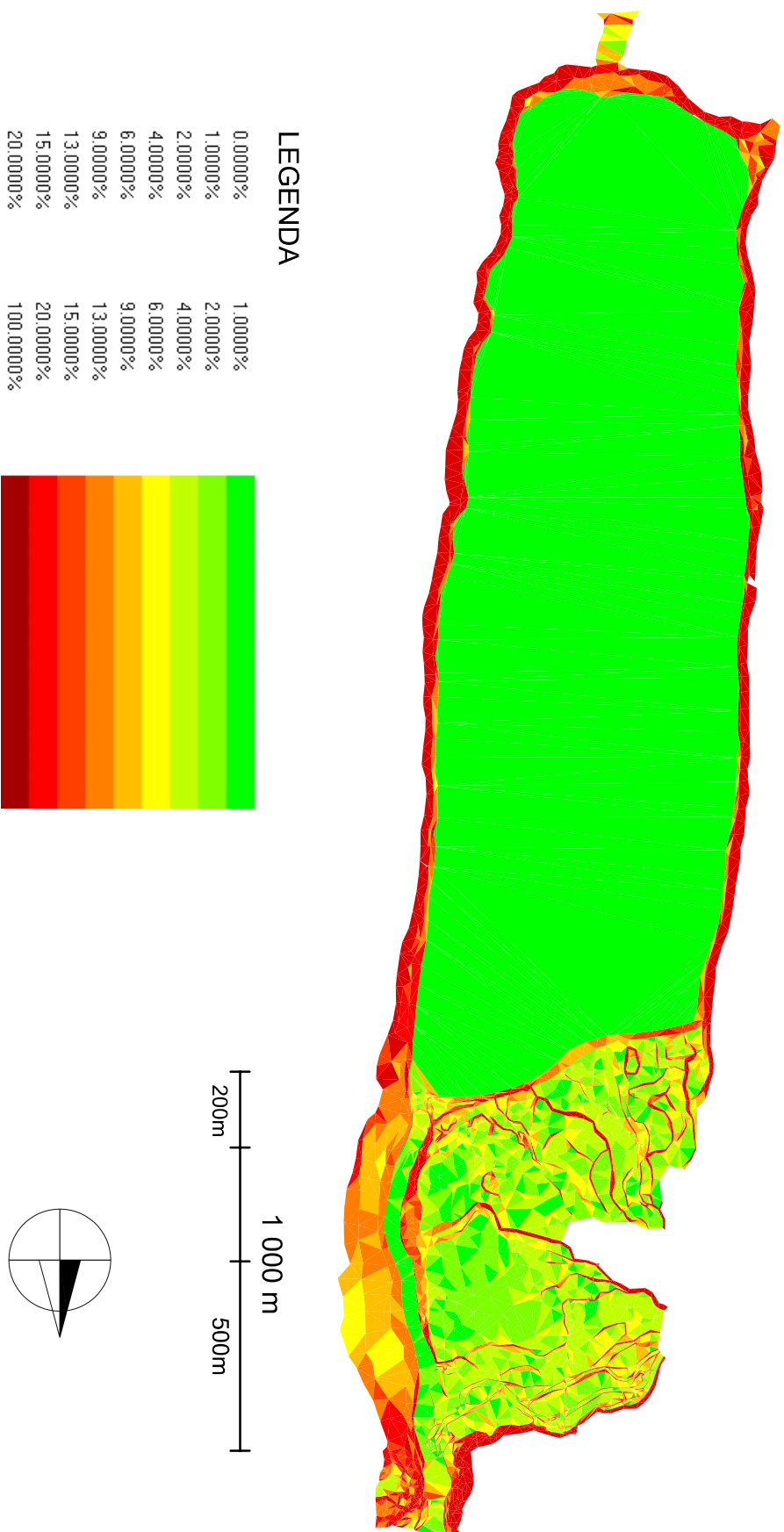
LEGENDA

Minimální výška	Maximální výška	Barevné schéma
65.510m	71.400m	
71.400m	73.280m	
73.280m	74.500m	
74.500m	74.650m	
74.650m	75.370m	
75.370m	76.290m	
76.290m	77.110m	
77.110m	78.010m	
78.010m	78.930m	
78.930m	79.620m	
79.620m	80.250m	
80.250m	80.970m	
80.970m	81.830m	
81.830m	83.280m	
83.280m	85.170m	
85.170m	95.220m	



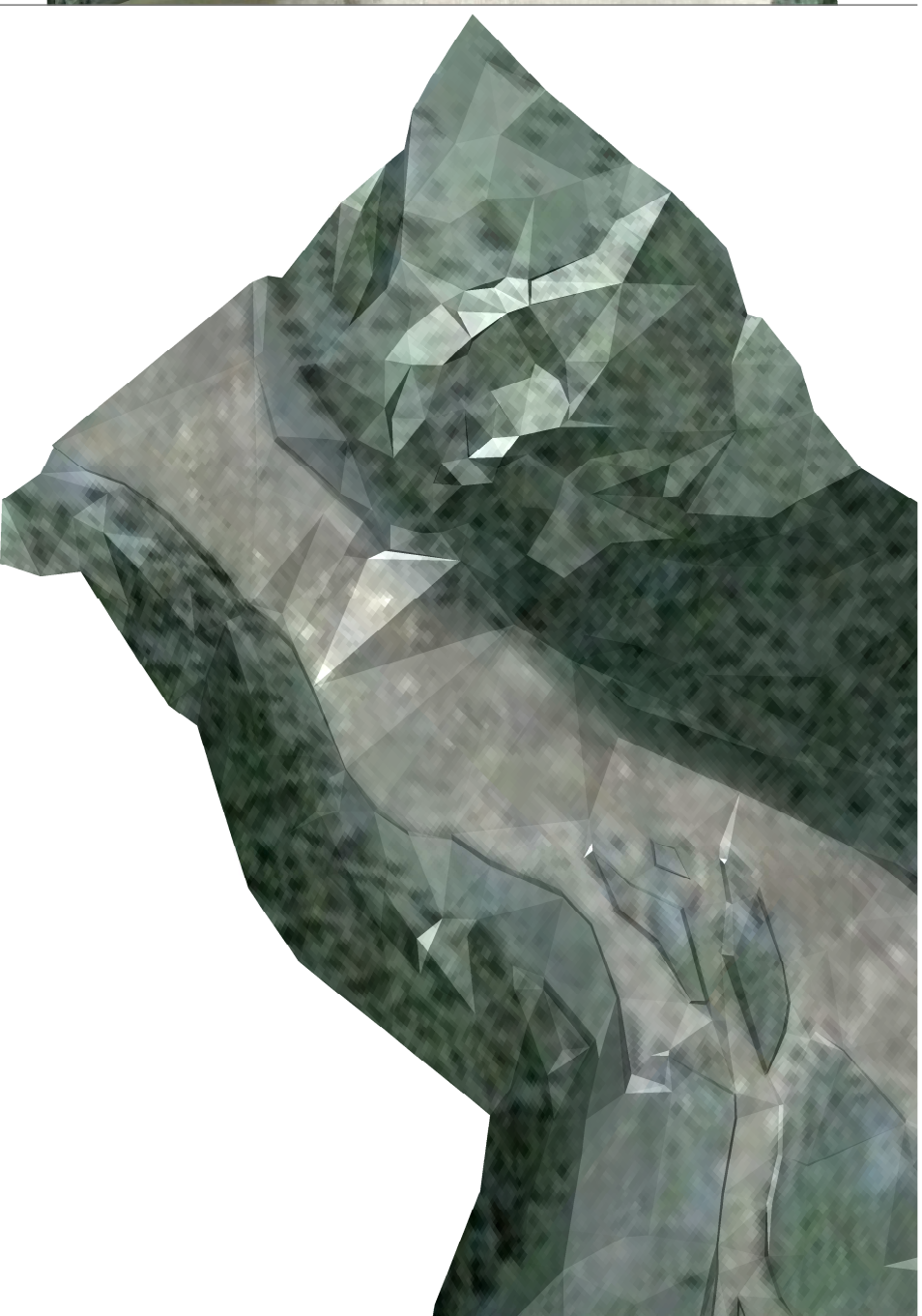
ANALÝZA SKLONŮ

Příloha č. 3





Západní pohled na severní část lokality



Severozápadní pohled na území plánované hráze



Východní pohled na celou lokalitu

POHLEDOVÁ MAPA